

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



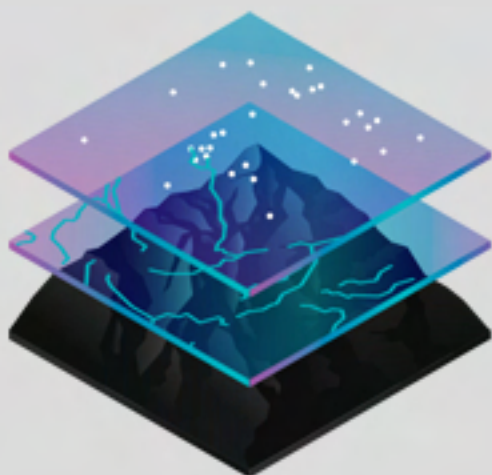
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωστατιστική ανάλυση ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης
του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού

Επιμέλεια : Κόλλιας Αντώνιος

Κρούσος Πανάρετος

Επιβλέπων Καθηγητής: Μυλόπουλος Νικήτας



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού
Βόλος, Σεπτέμβριος 2019

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων μας τον καθηγητή κ. Νικήτα Μυλόπουλο. για την επιλογή ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος και την βοήθεια και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μας. Έπειτα ευχαριστούμε τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Τζιάτζιο. για όλες τις συμβουλές του, για την επικοινωνία και για το χρόνο που διέθεσε για να μας λύσει απορίες καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου που πέρασε μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία μας. Επίσης, ευχαριστούμε την επίκουρο καθηγήτρια κ. Βασιλική Κατσαρδή και το μέλος Ε.Δ.Ι.Π κ. Λάμπρο Βασιλειάδη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή

Τέλος, ιδιαιτέρως ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειες μας και τους φίλους μας για την υποστήριξή τους.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Διπλωματική Εργασία

Γεωστατιστική ανάλυση ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού

Κόλλιας Αντώνιος, Κρούσσος Πανάρετος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2019

Επιβλέπων Καθηγητής : Μυλόπουλος Νικήτας

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματική εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της ποσοτικής και της ποιοτικής κατάστασης του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού Μαγνησίας, με τη χρήση εργαλείων χωρικής παρεμβολής, τα οποία βρίσκονται στο εμπορικό πακέτο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και εφαρμόζουν ντετερμινιστικές και γεωστατιστικές μεθόδους. Η έκδοση του πακέτου που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ArcMap 10.2. Οι ντετερμινιστικοί μέθοδοι χωρικής παρεμβολής που εφαρμόστηκαν ήταν οι: Inverse Distance Weighting, Radial Basis Functions , και οι γεωστατιστικοί μέθοδοι: οι Ordinary Kriging, Simple Kriging, Probability Kriging. Επίσης, έγινε και η εφαρμογή της μεθόδου Topo to Raster, η οποία αποτελεί μία ξεχωριστή κατηγορία χωρικής παρεμβολής. Από τη χρήση στατιστικών κριτηρίων (μέσο σφάλμα, ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, σταθερό σφάλμα, μέσο τυποποιημένο σφάλμα, μέση τυποποιημένη ρίζα του τετραγωνικού σφάλματος) έγινε η επιλογή της πιο αξιόπιστης μεθόδου/αξιόπιστων μεθόδων, καθώς η εφαρμογή όλων των

μεθόδων δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι για τους πιεζομετρικούς χάρτες ήταν η Topo To Raster και η Simple Kriging ενώ για τους χάρτες που μας δείχνουν τις συγκεντρώσεις νιτρικών και χλωριόντων ήταν η Topo to Raster και η Probability Kriging. Τέλος, με βάση τις επικρατούσες καλλιέργειες σιτάρι, βαμβάκι, αραβόσιτος και ζαχαρότευτλα μελετήθηκαν δύο μελλοντικά διαχειριστικά σενάρια για μια περίοδο δέκα ετών, τα οποία αφορούν την έκπλυση νιτρικών και τις απαιτήσεις σε άζωτο. Κρίνεται απαραίτητο να επισημανθεί, ότι η κατάσταση στον υπόγειο υδροφόρα θα είναι αρκετά βελτιωμένη με τις διαφορετικές πολιτικές διαχείρισης των καλλιεργειών.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Diploma Thesis

Geostatistics analysis of quantitative and qualitative status of the aquifer system of Almyros Basin

Kollias Antonios, Kroussos Panaretos

Thesis Tutor: Mylopoulos Nikitas

Abstract

This thesis investigates the quantitative and qualitative status of the aquifer system of the Almyros catchment area in Magnesia (Greece), using interpolation tools, which are included in the Geographic Information Systems trading package and they are apply deterministic as well as geostatistical methods. The deterministic method of interpolation tools which was used is: Inverse Distance weighting, and geostatistical methods are: Ordinary Kriging, Simple Kriging, Probability Kriging. Also, the Topo to Raster method was app The Topo to Raster method was also implemented, which is a separate interpolation tool. The use of statistical criteria (mean error, root mean square error, constant error, mean standard error, mean square root mean square error) led to the choice of the most reliable method / reliable methods, as all methods did not have good results. Topo To Raster and Simple Kriging were the most effective methods for piezometric head spatial analysis, while Topo to Raster and Probability Kriging methods succeed in giving acceptable spatial distribution of nitrate and chloride concentrations.

Finally, according to the prevailing crops (cotton, wheats, maize, soybean) two future management scenarios studied for a ten-year period, relating to nitrate leaching and nitrogen requirements. It is worth to note, that the groundwater quality it is expected to be considerably improved applying different crop management policies.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	22
2. Για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ)	24
2.1 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ).....	26
2.2 Υπόγειοι υδατικοί πόροι	28
3. Προβλήματα σχετικά με το Νερό	31
3.1 Νερό: Αγαθό ή εμπόρευμα;	31
3.2 Ποσοτικά Προβλήματα	32
3.2.1 Λειψυδρία.....	32
3.3 Ποιοτικά προβλήματα	34
3.3.1 Ρύπανση από χλωριόντα	35
3.3.3.1 Φυσικά Χλωριόντα	36
3.3.3.2 Μέτρηση Χλωριόντων	37
3.3.3.3 Άλλες πηγές χλωριόντων	37
3.3.3.4 Υπερβολική ποσότητα χλωριόντων	38
3.3.3.5 Υφαλμύριση	40
3.3.2 Ρύπανση από νιτρικά.....	41
3.3.2.1 Νιτρορύπανση	42
3.3.2.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	43
3.4 Ρυθμιστικό Πλαίσιο ΔΥΠ	44
3.4.1 Όργανα και φορείς Διαχείρισης	44
4. Παρουσίαση της περιοχής μελέτης	46
4.1 Γεωγραφική θέση και στοιχεία γεωμορφολογίας	48
4.1.1 Γεωμορφολογία.....	49
4.1.2 Γεωλογία	50
4.1.2.1 Αλπικά πετρώματα.....	51
4.1.2.2 Μεταλπικά πετρώματα	53
4.1.2.3 Ηφαιστιογενή πετρώματα	58
4.1.3 Υδρογεωλογία.....	59
4.2 Αγροτική δραστηριότητα στην περιοχή.....	63
4.3 Κτηνοτροφία στη περιοχή.....	64

4.4 Βιομηχανική και εμπορική δραστηριότητα	65
4.4 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	66
5. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης.....	68
5.1 Μέθοδοι τοπικών εκτιμήσεων	69
5.1.1 Inverse Distance Weighting (IDW)	71
5.1.2 Radial Basis Functions	72
5.1.3 Triangulated Irregular Network	73
5.1.4 Nearest Neighbors	74
5.1.5 Topo to Raster (ANUDEM)	74
5.2 Γενικευμένες μέθοδοι.....	74
5.2.1 Επιφάνεια τάσης (Trend Surface)	75
5.2.2 Μοντέλα ταξινόμησης	76
5.3 Γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής συσχέτισης (Kriging).....	77
5.3.1 Ημιβαριόγραμμα ή Βαριογράμμα (Semivariogram).....	78
5.3.2 Θεωρία περιφεροποιημένων μεταβλητών.....	82
5.3.3 Είδη μεθόδων Kriging	84
5.3.3.1 Ordinary Kriging.....	84
5.3.3.2 Simple Kriging.....	85
5.3.3.3 Universal Kriging.....	86
5.3.3.4 Indicator Kriging.....	86
5.3.3.5 Co-Kriging.....	86
5.4 Δείκτες στατιστικού ελέγχου αποτελεσμάτων και επαλήθευσης των μεθόδων χωρικής παρεμβολής	87
5.4.1 Υπολογισμός του σφάλματος στο Kriging (μέθοδος cross – validation)	88
5.4.2 Συμπεράσματα για τις τιμές των στατιστικών δεικτών.....	88
6. Εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης στη περιοχή μελέτης.....	90
6.1 Χωρική κατανομή της πιεζομετρίας στη περιοχή μελέτης.....	90
6.1.1 Εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής στη περίοδο μελέτης για τη δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών.....	94
6.1.1.1 Μέθοδος Inverse Distance Weighting	94
6.1.1.2 Μέθοδος Radial Basis Function (RBS)	95

Διπλωματική Εργασία

6.1.1.3 Μέθοδος Ordinary Kriging.....	96
6.1.1.4 Simple Kriging με μετασχηματισμό Normal Score και αφαίρεση τάσης	99
6.1.1.5 Μέθοδος Topo to Raster.....	101
6.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	103
6.1.3 Σχολιασμός στατιστικών κριτηρίων των χαρτών	126
6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης Νιτρικών στον υπόγειο υδροφόρα	128
6.2.1 Σχολιασμός στατιστικών δεικτών χαρτών συγκέντρωσης νιτρικών	139
6.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης χλωριόντων στον υπόγειο υδροφόρα	140
6.3.1 Σχολιασμός στατιστικών δεικτών χαρτών συγκέντρωσης χλωριόντων.....	151
6.4 Έλεγχος πτώσης στάθμης.....	152
7. Διαχειριστικά σενάρια της αντιμετώπισης της ρύπανσης του υδροφόρα από Νιτρικά.....	156
7.1 Κατείδυση Νιτρικών στον υπόγειο υδροφόρα.....	156
7.2 Διαχειριστικά Σενάρια	159
8. Σύνοψη Διπλωματικής εργασίας	164
8.1 Συνοπτικά συμπεράσματα για την ποσοτική κατάσταση του υπόγειου υδροφόρα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού.....	165
8.2 Συνοπτικά συμπεράσματα για την ποιοτική κατάσταση του υπόγειου υδροφόρα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού.....	166
8.3 Συνοπτικά Συμπεράσματα για τα διαχειριστικά σενάρια.....	167
9. Παράρτημα	168
9.1 Πιεζομετρικοί Χάρτες	168
9.2 Χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών.....	187
9.3 Χάρτες συγκέντρωσης χλωριόντων	207
10.Βιβλιογραφία	223

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 : Διαγραμματική Παρουσίαση Υδατικού Συστήματος.....	25
--	----

Εικόνα 2 : Διαγραμματική απεικόνιση ΟΔΥΠ	26
Εικόνα 3: Φρεάτιος Υδροφορέας (Πηγή: Μαμάσης, 2011).....	28
Εικόνα 4 : Υπόγειοι Υδροφορείς(Βουδούρης, 2006)	28
Εικόνα 5 : Σύγκριση Φρεάτιου και περιορισμένου υδροφορέα (Πηγή: Μαμάσης, 2011).....	29
Εικόνα 6 : Πρόβλεψη για τον πληθυσμό της Γης (Πηγή : ΟΗΕ).....	32
Εικόνα 7: Ποσοστό πληθυσμού χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές νερό (Πηγη : ΟΗΕ).....	33
Εικόνα 8: Ισορροπία γλυκού και αλμυρού νερού σε παράκτιο υδροφορέα (Πηγή: Μάρης, 2015)	40
Εικόνα 9: Υφαλμύριση λόγω διείσδυσης αλμυρού νερού (Πηγή: Miller G. T., 1997: Living in the Environment - Προσαρμογή από το ΚΠΕ Καστοριάς, 2000)	41
Εικόνα 10: το σύνολο των βιοτόπων και τον τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλους που συναντώνται στην περιοχή μελέτης (Πηγή: http://www.itia.ntua.gr/filotis/)	47
Εικόνα 11: Γεωγραφική θέση των βιοτόπων και των τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλους που συναντώνται στη περιοχή μελέτης (Πηγή: http://www.itia.ntua.gr/filotis/)	47
Εικόνα 12: Υπολεκάνες λεκάνης απορροής Αλμυρού.....	48
Εικόνα 13: Γεωλογικός χάρτης περιοχής	50
Εικόνα 14: Υδρογεωλογικός χάρτης.....	59
Εικόνα 15: Ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών για το έτος 2015 (Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ).....	63
Εικόνα 16: Ποσοστά κτηνοτροφικής δραστηριότητας κατά το έτος 2016 (Πηγη: ΟΠΕΚΕΠΕ).....	64
Εικόνα 17: Κατανομή επιχειρήσεων (Πηγη: Εμπορικό επιμελητήριο Μαγνησίας)	65
Εικόνα 18: Μέση Θερμοκρασία Ιανουαρίου για τα έτη 2000-2015 (Πηγή : ΕΜΥ).....	66
Εικόνα 19: Μέση θερμοκρασία Ιουλίου για τα έτη 2000-2015 (Πηγή: ΕΜΥ)...	67
Εικόνα 20: Συνολική ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 2000-2015 (Πηγή: ΕΜΥ)	67
Εικόνα 21: Διαδικασίες επιλογής σημείων στις μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων (Κουτσόπουλος 2008).....	70
Εικόνα 22: Απεικόνιση της μεθόδου TIN	73

Εικόνα 23: Διαγραμματική απεικόνιση δειγματικού ή πειραματικού βαριογράμματος.....	80
Εικόνα 24: Απεικόνιση της χωρικής διαφοροποίησης μίας μεταβλητής	83
Εικόνα 25: Απεικόνιση του απόλυτου υψομέτρου στάθμης	90
Εικόνα 26: Σημεία δειγματοληψίας 2000-2004.....	91
Εικόνα 27: Σημεία δειγματοληψίας 2005-2008.....	92
Εικόνα 28 : Σημεία δειγματοληψίας 2013-2015.....	93
Εικόνα 29: Μέθοδος IDW : Επιλογή σημείου και γειτονικής περιοχής του	95
Εικόνα 30: Μέθοδος RBS: Επιλογή κατάλληλης παραλλαγής, σημείου και γειτονικής περιοχής του	96
Εικόνα 31: Επιλογή κατάλληλου μοντέλου ημιβαριογράμματος.....	97
Εικόνα 32: Επιλογή σημείου και γειτονικής περιοχής.....	98
Εικόνα 33: Επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο cross validation	99
Εικόνα 34: Ανάλυση δεδομένων για εύρεση τάσεων	100
Εικόνα 35: Ιστόγραμμα των δεδομένων που προκύπτουν από τα σημεία δειγματοληψίας	100
Εικόνα 36: Ιστόγραμμα δεδομένων μετά τον μετασχηματισμό Normal score και την αφαίρεση τάσεων, ώστε να προσεγγίζει την κανονική κατανομή	101
Εικόνα 37: Συμπλήρωση πεδίων στην Topo to Raster	102
Εικόνα 38: Συμπλήρωση πεδίων	102
Εικόνα 39: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 IDW	103
Εικόνα 40: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 RBS.....	104
Εικόνα 41: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Ordinary Kriging	105
Εικόνα 42: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Simple Kriging	106
Εικόνα 43: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Simple Kriging Trend Remove	107
Εικόνα 44: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Topo to Raster	107
Εικόνα 45: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 IDW	109
Εικόνα 46: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 RBS.....	110
Εικόνα 47: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging	110
Εικόνα 48: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Simple Kriging	111
Εικόνα 49: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Simple Kriging Trend Remove	111

Εικόνα 50: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Topo to Raster	112
Εικόνα 51: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 IDW	114
Εικόνα 52: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 RBS	115
Εικόνα 53: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Ordinary Kriging	116
Εικόνα 54: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Simple Kriging	117
Εικόνα 55: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Simple Kriging Trend Remove	118
Εικόνα 56: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Topo to Raster	119
Εικόνα 57: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 IDW	120
Εικόνα 58: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 RBS	121
Εικόνα 59: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Ordinary Kriging	122
Εικόνα 60: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Simple Kriging	123
Εικόνα 61: Πιεζομετρικός Χάρτης Οκτώβριος 2005 Simple Kriging Trend Remove	124
Εικόνα 62: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Topo to Raster	125
Εικόνα 63: Χάρτης Συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 RBS	128
Εικόνα 64: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Ordinary Kriging	129
Εικόνα 65: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Simple Kriging	129
Εικόνα 66: Χάρτης Συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Topo to Raster	130
Εικόνα 67: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Probability Kriging	130
Εικόνα 68: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging	132
Εικόνα 69: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Απρίλιος 2005 Simple Kriging	133
Εικόνα 70: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Απρίλιος 2005 Topo to Raster	133
Εικόνα 71: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 RBS	135
Εικόνα 72: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Ordinary Kriging	136
Εικόνα 73: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Simple Kriging	136
Εικόνα 74: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Topo to Raster ...	137
Εικόνα 75: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Probability Kriging	137

Εικόνα 76: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 RBS....	140
Εικόνα 77: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Ordinary Kriging.....	141
Εικόνα 78: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging.....	141
Εικόνα 79: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Topo to Raster	142
Εικόνα 80: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Probability Kriging.....	142
Εικόνα 81: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 RBS	144
Εικόνα 82: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Ordinary Kriging	145
Εικόνα 83: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Simple Kriging	145
Εικόνα 84: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Topo to Raster	146
Εικόνα 85: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Probability Kriging	146
Εικόνα 86: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 RBS	148
Εικόνα 87: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging.....	149
Εικόνα 88: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging.....	149
Εικόνα 89: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster	150
Εικόνα 90: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Probability Kriging.....	150
Εικόνα 91: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2005.....	152
Εικόνα 92: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2006.....	153
Εικόνα 93: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Μαΐου 2007.....	154
Εικόνα 94: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2008.....	155
Εικόνα 95: Γράφημα συνολικής φόρτισης Νιτρικών	160
Εικόνα 96: Ποσοστιαία μείωση Ποσότητας Νιτρικών	161

Εικόνα 97: Γράφημα συνολικής έκπλυσης νιτρικών κάθε σεναρίου	162
Εικόνα 98: Ποσοστιαία μείωση έκπλυσης Νιτρικών	162
Εικόνα 99: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 RBS.....	168
Εικόνα 100: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2006 IDW	168
Εικόνα 101: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging	169
Εικόνα 102: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2006 Ordinary Kriging	169
Εικόνα 103: Πιεζομετρικός Χάρτης Φεβρουάριος 2006 Topo to Raster	170
Εικόνα 104: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging Trend Remove	170
Εικόνα 105: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 RBS	171
Εικόνα 106: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 IDW.....	171
Εικόνα 107: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Ordinary Kriging.....	171
Εικόνα 108: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Simple Kriging.....	171
Εικόνα 109: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Topo to Raster.....	172
Εικόνα 110: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Simple Kriging Trend Remove	172
Εικόνα 111: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 RBS.....	173
Εικόνα 112: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 IDW	173
Εικόνα 113: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Ordinary Kriging	173
Εικόνα 114: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Simple Kriging.....	173
Εικόνα 115: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Topo to Raster	174
Εικόνα 116: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Simple Kriging Trend Remove	174
Εικόνα 117: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 IDW	175
Εικόνα 118: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 RBS.....	175
Εικόνα 119: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging	175
Εικόνα 120: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging	175
Εικόνα 121: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster.....	176
Εικόνα 122: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging Trend Remove	176
Εικόνα 123: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 RBS.....	177
Εικόνα 124: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 IDW	177
Εικόνα 125: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging	177

Εικόνα 126: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging	177
Εικόνα 127: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging Trend Remove	178
Εικόνα 128: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster	178
Εικόνα 129: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 RBS	179
Εικόνα 130: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 IDW.....	179
Εικόνα 131: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Ordinary Kriging.....	179
Εικόνα 132: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Simple Kriging.....	179
Εικόνα 133: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Simple Kriging Trend Remove	180
Εικόνα 134: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Topo to Raster.....	180
Εικόνα 135: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 IDW	181
Εικόνα 136: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 RBS.....	181
Εικόνα 137: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Ordinary Kriging	181
Εικόνα 138: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Simple Kriging.....	181
Εικόνα 139: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Simple Kriging Trend Remove	182
Εικόνα 140: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Topo to Raster	182
Εικόνα 141: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 RBS.....	183
Εικόνα 142: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 IDW	183
Εικόνα 143: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging	183
Εικόνα 144: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging	183
Εικόνα 145: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster.....	184
Εικόνα 146: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging Trend Remove	184
Εικόνα 147: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 IDW	185
Εικόνα 148: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 RBS	185
Εικόνα 149: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging.....	185
Εικόνα 150: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Simple Kriging.....	185
Εικόνα 151: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Topo to Raster	186
Εικόνα 152: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Simple Kriging Trend Remove	186

Εικόνα 153: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Probability Kriging.....	187
Εικόνα 154: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging.....	187
Εικόνα 155: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 RBS	187
Εικόνα 156: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Ordinary Kriging.....	187
Εικόνα 157: Χάρτης Συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Topo to raster.....	188
Εικόνα 158: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 RBS	189
Εικόνα 159: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Ordinary Kriging.....	189
Εικόνα 160: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Simple Kriging ...	189
Εικόνα 161: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Topo to Raster...	189
Εικόνα 162: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Probability Kriging	190
Εικόνα 163: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging.....	191
Εικόνα 164: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 RBS.....	191
Εικόνα 165: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging.....	191
Εικόνα 166: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster	191
Εικόνα 167: Χάρτης Συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Probability Kriging.....	192
Εικόνα 168: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging.....	193
Εικόνα 169: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 RBS.....	193
Εικόνα 170: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging.....	193
Εικόνα 171: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster	193
Εικόνα 172: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Probability Kriging.....	194
Εικόνα 173: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 RBS	195
Εικόνα 174: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Ordinary Kriging.	195

Εικόνα 175: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Simple Kriging ...	195
Εικόνα 176: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Topo to Raster ...	195
Εικόνα 177: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 RBS.....	197
Εικόνα 178: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Ordinary Kriging.....	197
Εικόνα 179: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging.....	197
Εικόνα 180: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Topo to Raster	197
Εικόνα 181: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Probability Kriging.....	198
Εικόνα 182: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 RBS	199
Εικόνα 183: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Ordinary Kriging.....	199
Εικόνα 184: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Simple Kriging	199
Εικόνα 185: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Topo to Raster	199
Εικόνα 186: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Probability Kriging.....	200
Εικόνα 187: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2008 RBS	201
Εικόνα 188: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2008 Ordinary Kriging	201
Εικόνα 189: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2008 Simple Kriging..	201
Εικόνα 190: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2008 Topo to Raster .	201
Εικόνα 191: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιούνιος 2008 Probability Kriging	202
Εικόνα 192: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging.....	203
Εικόνα 193: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 RBS.....	203
Εικόνα 194: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging	203
Εικόνα 195: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster	203
Εικόνα 196: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Probability Kriging.....	204

Εικόνα 197: Χάρτης συγκέντρωση νιτρικών Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging	205
Εικόνα 198: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 RBS	205
Εικόνα 199: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 Simple Kriging	205
Εικόνα 200: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Οκτώβριος 2008 Topo to Raster	205
Εικόνα 201: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 Probability Kriging.....	206
Εικόνα 202: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 RBS	207
Εικόνα 203: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging.....	207
Εικόνα 204: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 Simple Kriging.....	207
Εικόνα 205: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Απρίλιος 2005 Topo to Raster	207
Εικόνα 206: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 Probability Kriging.....	208
Εικόνα 207: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2005 Simple Kriging	209
Εικόνα 208: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2005 Ordinary Kriging	209
Εικόνα 209: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Ιούνιος 2005 Topo to Raster	209
Εικόνα 210: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 RBS..	210
Εικόνα 211: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging.....	210
Εικόνα 212: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging.....	210
Εικόνα 213: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster	210
Εικόνα 214: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Probability Kriging.....	211
Εικόνα 215: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Ordinary Kriging	212
Εικόνα 216: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 RBS	212

Εικόνα 217: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Simple Kriging	212
Εικόνα 218: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Topo to Raster	212
Εικόνα 219: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Probability Kriging.....	213
Εικόνα 220: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Ordinary Kriging.....	214
Εικόνα 221: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 RBS... ..	214
Εικόνα 222: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging.....	214
Εικόνα 223: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Topo to Raster	214
Εικόνα 224: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Probability Kriging.....	215
Εικόνα 225: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 RBS.....	216
Εικόνα 226: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Ordinary Kriging.....	216
Εικόνα 227: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Simple Kriging.....	216
Εικόνα 228: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Topo to Raster	216
Εικόνα 229: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Probability Kriging.....	217
Εικόνα 230: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Simple Kriging	218
Εικόνα 231: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Ordinary Kriging	218
Εικόνα 232: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 RBS.....	218
Εικόνα 233: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Topo to Raster	218
Εικόνα 234: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Ιούνιος 2008 Probability Kriging.....	219
Εικόνα 235: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging.....	220
Εικόνα 236: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 RBS	220

Εικόνα 237: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging.....	220
Εικόνα 238: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster	220
Εικόνα 239: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Probability Kriging.....	221
Εικόνα 240: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging.....	222
Εικόνα 241: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Simple Kriging.....	222
Εικόνα 242: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Topo to Raster	222
Εικόνα 243: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Probability Kriging.....	222

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Σφάλματα Φεβρουάριος 2005	108
Πίνακας 2: Σφάλματα Απρίλιος 2005	112
Πίνακας 3: Σφάλματα Ιούνιος 2005	119
Πίνακας 4: Σφάλματα Οκτώβριος 2005.....	125
Πίνακας 5: Σφάλματα Ιανουάριος 2005.....	131
Πίνακας 6: Σφάλματα Απρίλιος 2005	134
Πίνακας 7: Σφάλματα Ιούνιος 2005	138
Πίνακας 8: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006	143
Πίνακας 9: Σφάλματα Μάιος 2006.....	147
Πίνακας 10: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006	151
Πίνακας 11: Ποσοστιαία κατανομή Νιτρικών (Πηγή : Υδρομέντωρ, 2015) ...	156
Πίνακας 12: Εφαρμοζόμενες αζωτούχες λιπάνσεις.....	158
Πίνακας 13:Απαιτήσεις Λιπάνσεων (Πηγή : ΦΕΚ 2001/1422/Β)	159
Πίνακας 14: Συνολική Φόρτιση Νιτρικών	160
Πίνακας 15: Συνολική Έκπλυση Νιτρικών	161
Πίνακας 16: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006	170
Πίνακας 17: Σφάλματα Μάιος 2006.....	172
Πίνακας 18: Σφάλματα Ιούνιος 2006	174

Πίνακας 19: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006	176
Πίνακας 20: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007	178
Πίνακας 21: Σφάλματα Μάιος 2007	180
Πίνακας 22: Σφάλματα Ιούνιος 2008	182
Πίνακας 23: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008	184
Πίνακας 24: Σφάλματα Οκτώβριος 2008	186
Πίνακας 25: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006	188
Πίνακας 26: Σφάλματα Μάιος 2006	190
Πίνακας 27: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006	192
Πίνακας 28: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007	194
Πίνακας 29: Σφάλματα Μάιος 2007	196
Πίνακας 30: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2007	198
Πίνακας 31: Σφάλματα Οκτώβριος 2007	200
Πίνακας 32: Σφάλματα Ιούνιος 2008	202
Πίνακας 33: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008	204
Πίνακας 34: Σφάλματα Οκτώβριος 2008	206
Πίνακας 35: Σφάλματα Απρίλιος 2005	208
Πίνακας 36: Σφάλματα Ιούνιος 2005	209
Πίνακας 37: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007	211
Πίνακας 38: Σφάλματα Μάιος 2007	213
Πίνακας 39: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2007	215
Πίνακας 40: Σφάλματα Οκτώβριος 2007	217
Πίνακας 41: Σφάλματα Ιούνιος 2008	219
Πίνακας 42: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008	221
Πίνακας 43: Σφάλματα Οκτώβριος 2008	222

1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου και του οικοσυστήματος γενικότερα. Είναι απαραίτητο για την υγεία, την ευημερία και την αξιοπρέπεια του ανθρώπου διότι αποτελεί θεμελιώδη και απαραίτητο πόρο για την ανάπτυξη της αγροτικής, της κτηνοτροφικής και της βιομηχανικής δραστηριότητας.

Παρά το γεγονός ότι οι υδατικοί πόροι γλυκού νερού βρίσκονται υπό αυξανόμενη πίεση, μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού συνεχίζει να μην έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό, γεγονός που δεν προβλέπεται να αναστραφεί τα στο άμεσο μέλλον ή μακροχρόνια

Παράλληλα, παρουσιάζεται η κρίση του νερού η οποία καθίσταται ανησυχητική από μια σειρά στοιχείων όπως η λειψυδρία και η ολοένα αυξανόμενη ρύπανση του νερού.

Για το λόγο αυτό αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι πολιτικές που εφαρμόζονται και με ποιο γνώμονα.

Σκοπός της εργασίας, όπως αυτή περιγράφεται στα κεφάλαια που ακολουθούν είναι, ξεκινώντας από μια παρουσίαση για το τι πραγματεύεται η ΔΥΠ και παρουσιάζοντας προβλήματα που σχετίζονται με το νερό, με την ποσοτική και ποιοτική αποτίμηση κυρίως των υπόγειων υδατικών συστημάτων, να γίνει η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της έρευνας, για την περιοχή μελέτης, η οποία είναι η λεκάνη απορροής του Αλμυρού.

Το 2^ο κεφάλαιο της εργασίας ασχολείται με τα θέματα και τις έννοιες που ασχολείται η επιστημονική περιοχή της ΔΥΠ καθώς και της ολοκληρωμένης ΔΥΠ.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα προβλήματα που έχουν προκύψει με το νερό, τόσο στα ποσοτικά όπως η λειψυδρία αλλά δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα ποιοτικά και τη ρύπανση που προκαλείται από τα νιτρικά και τα χλωριόντα.

Διπλωματική Εργασία

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης με τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά, κλιματολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο γεωστατιστικής ανάλυσης και τις μεθόδους που χρησιμοποιεί.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας με βάση τις μεθόδους της χωρικής παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαχειριστικά σενάρια που δημιουργήθηκαν για την βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης

Τέλος στο κεφάλαιο 8, γίνεται μια σύνοψη της εργασίας και καταγράφονται τα συμπεράσματα για την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των υπόγειων υδατικών πόρων με γνώμονα τα δεδομένα και τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής, οι οποίες εφαρμόστηκαν καθώς και συμπεράσματα για τα διαχειριστικά σενάρια και πως είναι δυνατόν να βελτιωθεί η υπάρχουσα κακή κατάσταση του υπόγειου υδατικού συστήματος

2. Για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ)

Η ολοένα και πιο ραγδαία αύξηση της ζήτησης για νερό έχει οδηγήσει σε μεγάλες πιέσεις το υδατικό σύστημα. Βασικοί λόγοι για αυτή την αύξηση της ζήτησης είναι το ολοένα και αυξανόμενο βιοτικό επίπεδο, ιδιαίτερα στις χώρες του λεγόμενου ανεπτυγμένου κόσμου αλλά και η αύξηση του πληθυσμού. Βασικές δραστηριότητες όπου το νερό είναι απαραίτητο είναι η αγροτική παραγωγή, η βιομηχανική παραγωγή, η κτηνοτροφία, ο τουρισμός και προφανώς οι ανάγκες του πληθυσμού για την επιβίωσή του. Για αυτό το λόγο, επειδή είναι αρκετές οι διαφορετικές χρήσεις με μεγάλη ζήτηση κατανάλωσης, κρίνεται αναγκαία η εύρεση και η εφαρμογή νέων πολιτικών για το παρόν ζήτημα. Μια απλοϊκή λύση που λαμβάνει υπόψη μόνο τη ζήτηση και την προσφορά, πλέον δεν είναι επαρκής και είναι αντίστοιχη της εποχής μας. Σε αυτό το πρόβλημα καλείται να απαντήσει η Διαχείριση Υδατικών Πόρων.

Η διαχείριση υδατικών πόρων πραγματεύεται το σύνολο των δράσεων που απαιτούνται ώστε να υπάρχει κάλυψη των αναγκών για νερό. Πρακτικά αυτό συνεπάγεται ότι σκοπός είναι τόσο η πρόβλεψη των υδάτινων αναγκών για μια συγκεκριμένη περιοχή, αναλύοντας δεδομένα της περιοχής όπως πληθυσμό, βιομηχανία και άλλα, και στη συνέχεια η πραγματοποίηση έργων στην προσπάθεια για εύρεση της βέλτιστης λύσης για την κάλυψη.

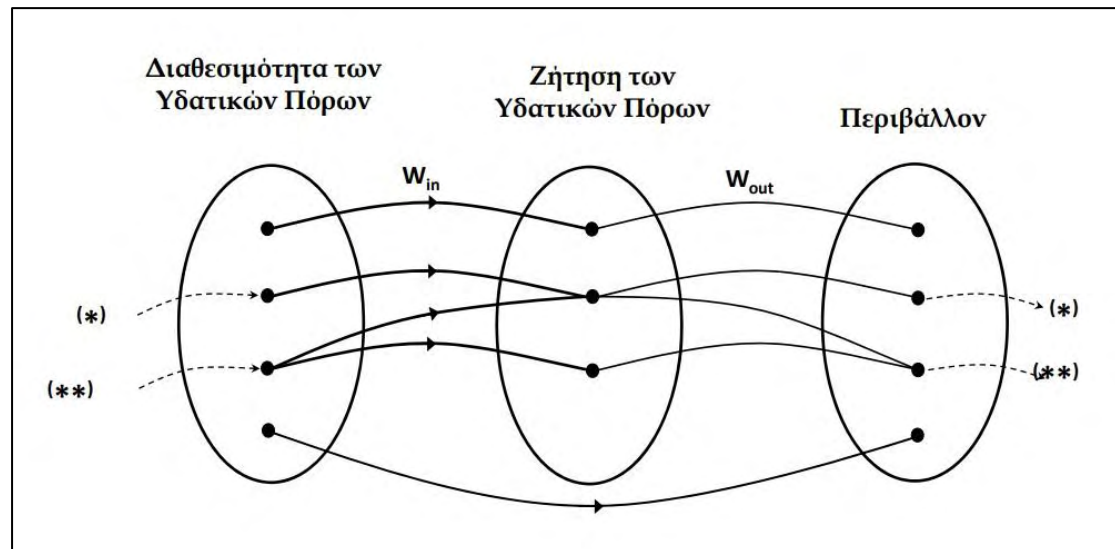
Βασικές έννοιες/ορολογίες των οποίων ο ορισμός κρίνεται απαραίτητο να καθοριστεί στην επιστήμη της ΔΥΠ, είναι η έννοια του Υδατικού Πόρου, του Υδατικού Συστήματος και τέλος της Λεκάνης Απορροής.

Υδατικός πόρος γενικά θεωρείται η οποιαδήποτε θέση κυκλοφορίας του νερού στη φύση, όπου συναντάται σε τέτοια μορφή, ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από τεχνική και οικονομική άποψη, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον. (Τσακίρης, 2007).

Σύστημα είναι ένα αντικείμενο μελέτης, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο συστατικών (αντικείμενα, ιδέες, άνθρωποι κλπ), μέρος των οποίων ή και όλα συνδέονται μεταξύ τους ή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ορισμένα από τα

Διπλωματική Εργασία

συστατικά του συστήματος είναι πιθανόν να συνδέονται και με άλλα συστήματα ή μόνο με ορισμένα συστατικά άλλων συστημάτων (Wilson, 1981).



Εικόνα 1 : Διαγραμματική Παρουσίαση Υδατικού Συστήματος

Λεκάνη απορροής είναι η επιφάνεια της γης που περικλείεται από τον υδροκρίτη. Στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται τα κατακρημνίσματα που στη συνέχεια καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα απομάκρυνσης τους (π.χ. ένα ποτάμι που καταλήγει στη θάλασσα) (Ζαγγανά, 2015).

2.1 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ)

Σήμερα κρίνεται αναγκαίο στο σήμερα να εφαρμόζονται πολιτικές διαχείρισης που να έχουν σαν κύριο στόχο τη βιωσιμότητα των συστημάτων σε συνδυασμό με την κάλυψη των αναγκών. Μια τέτοια έννοια με πολύ μεγάλη σημασία είναι η **ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων (ΟΔΥΠ)**. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι διαφορετικές χρήσεις νερού πρέπει να εξετάζονται από κοινού και όχι ξεχωριστά, δηλαδή το πώς επηρεάζει η κάθε χρήση και η κάθε απόφαση που λαμβάνεται την άλλη.



Εικόνα 2 : Διαγραμματική απεικόνιση ΟΔΥΠ

Έτσι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνολικά οι κοινωνικοί και οικονομικοί στόχοι και να συμπεριλαμβάνεται και ο στόχος της αειφόρου ανάπτυξης. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ο σχεδιασμός πολιτικών που να σχετίζονται όλοι οι κλάδοι μεταξύ τους.

Διπλωματική Εργασία

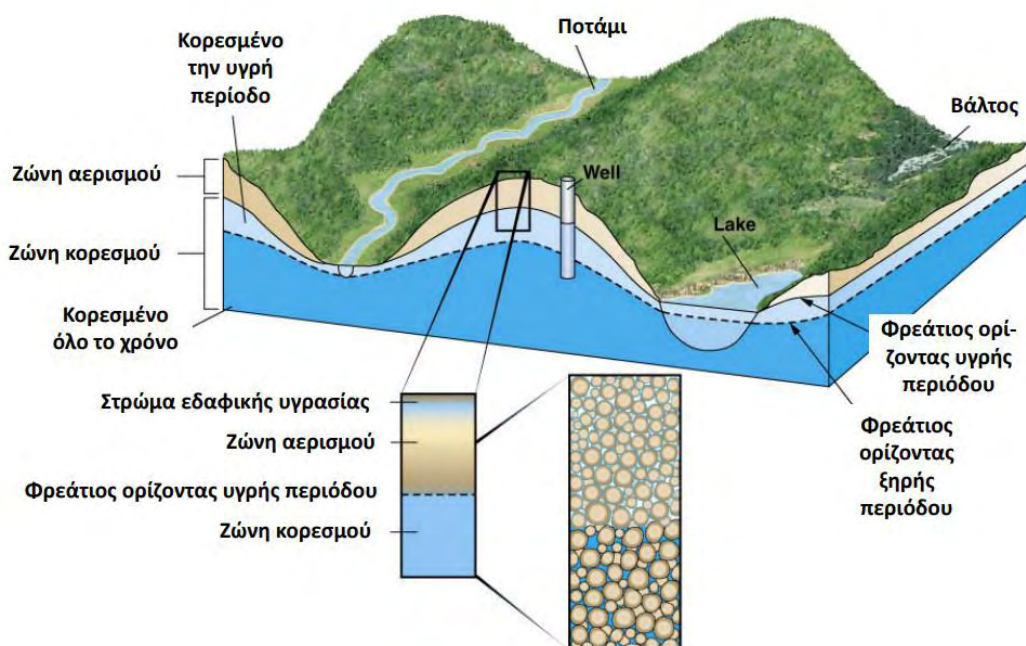
Πολύ βασικό στοιχείο της ΟΔΥΠ είναι η σκέψη ότι η αξιοποίηση των υδατικών πόρων οφείλει να γίνεται συνειδητά, με τρόπο τέτοιο ώστε να διασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη βιώσιμη χρήση. Αυτό συνεπάγεται ότι η ΟΔΥΠ είναι τελικά μια συστηματική διαδικασία που στοχεύει στην αειφόρο αξιοποίηση, κατανομή και παρακολούθηση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων στο πλαίσιο κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων.

Αδήριτη ανάγκη συνιστά η μελέτης της Επιφανειακής και Υπόγειας Υδρολογίας, ως ένα ενιαίο σύστημα. Στα χρονικά πλαίσια υλοποίησης/εκπόνησης μίας διπλωματικής εργασίας είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί μία πλήρης περιγραφή του επιφανειακού και υπόγειου υδατικού συστήματος μίας περιοχής. Επομένως, στην προκείμενη εργασία δίνεται έμφαση στον επιστημονική περιοχή της Υπόγειας Υδρολογίας

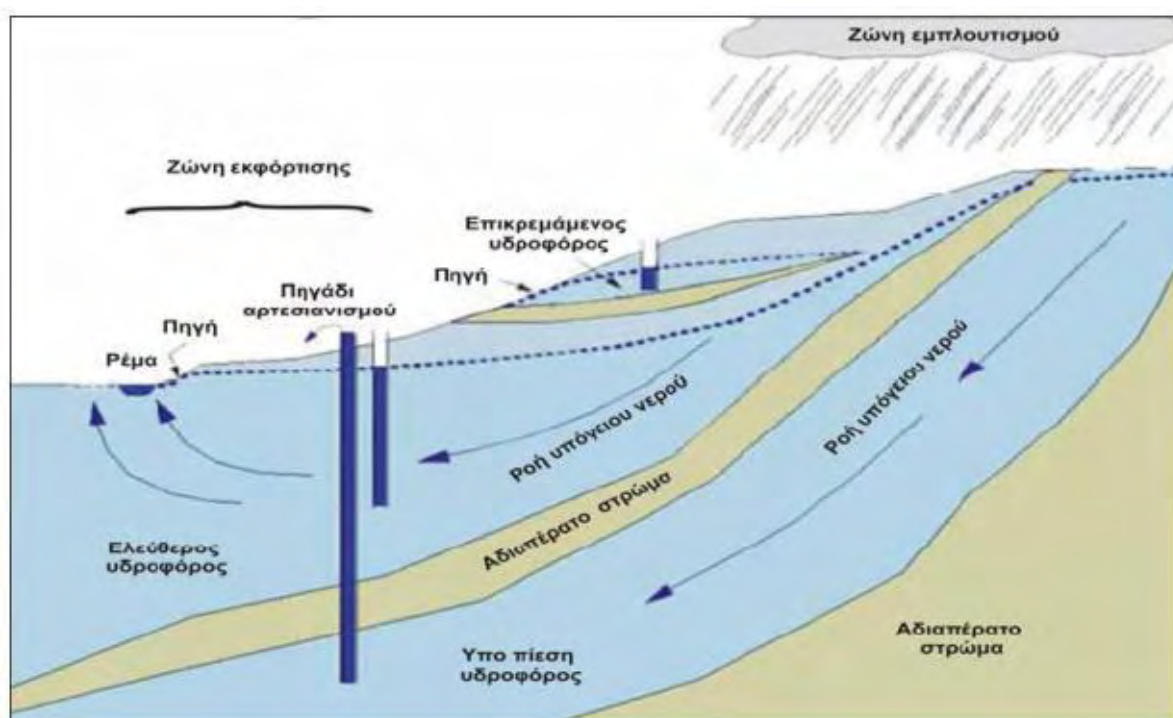
2.2 Υπόγειοι υδατικοί πόροι

Ως υπόγειοι υδατικοί πόροι ορίζονται τα αποθέματα γλυκού νερού που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης στη στεριά αλλά και ορισμένες φορές κοντά και στην ακτή της θάλασσας. Αποτελούν την πιο χρησιμοποιούμενη πηγή νερού, τόσο για πόσιμο νερό αλλά και για λόγους άρδευσης.

Εικόνα 3:
Φρεάτιος
Υδροφορέας
(Πηγή:
Μαμάσης,
2011)

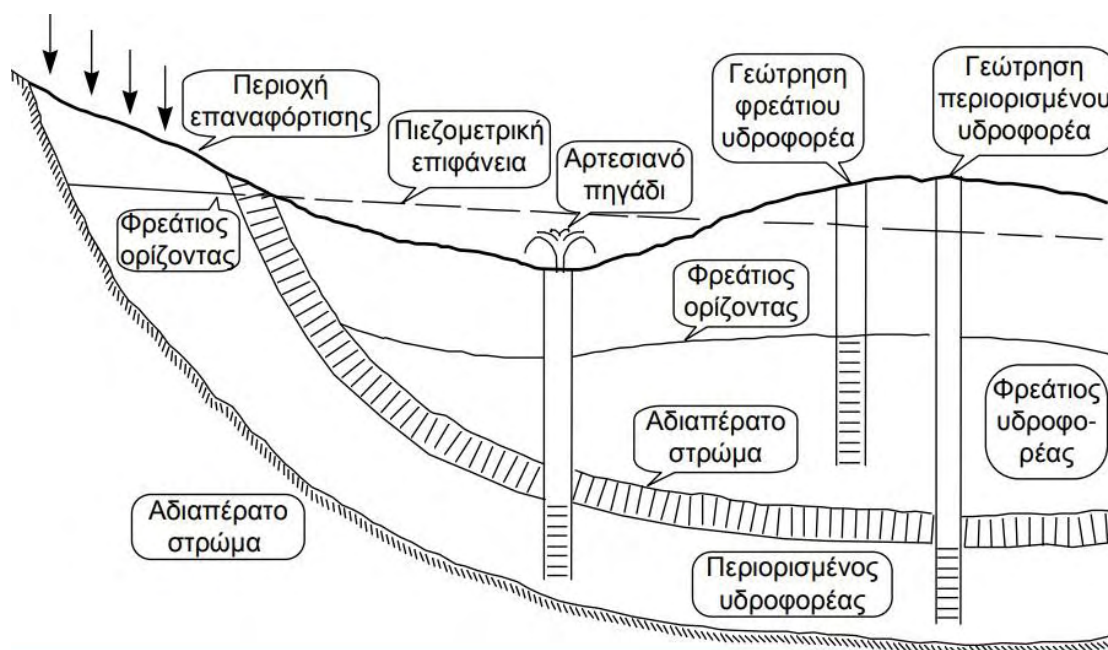


Οι υπόγειοι υδροφορείς διακρίνονται σε 3 είδη : στους ελεύθερους (φρεάτιους), στους αρτεσιανούς και στους ημί-αρτεσιανούς. Οι ελεύθεροι



Εικόνα 4 : Υπόγειοι Υδροφορείς(Βουδούρης, 2006)

βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, και δεν υπάρχει κάποιο πέτρωμα ανάμεσα τους και στην επιφάνεια. Αυτοί δέχονται απευθείας νερό από μια βροχόπτωση ή από έναν ποταμό. Αντίθετα οι αρτεσιανοί βρίσκονται κάτω από κάποιο πέτρωμα και συνήθως κάτω από κάποιον ελεύθερο υδροφόρα.



Εικόνα 5 : Σύγκριση Φρεάτιου και περιορισμένου υδροφόρα (Πηγή: Μαμάσης, 2011)

Η χρήση των υπόγειων υδάτων είναι πολύ διαδεδομένη καθώς έχει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα. Το κυριότερο είναι ότι δεν απαιτείται η κατασκευή ταμιευτήρων, καθώς πρακτικά λειτουργούν οι ίδιοι ως αποταμιευτήρες. Με αυτόν τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση οικονομικών πόρων διότι πρόκειται για ένα μεγάλο και πολυέξοδο έργο. Ταυτόχρονα επειδή αναπτύσσονται τις περισσότερες φορές κάτω από εκτάσεις που γίνεται κατανάλωση νερού αποφεύγουμε και την κατασκευή έργων μεταφοράς του νερού. Παρόλα αυτά υπάρχουν και ορισμένες δυσκολίες στη μελέτη των υπόγειων υδάτων καθώς υπάρχουν ετερογενείς υδροφορείς ως προς τις υδραυλικές παραμέτρους και ανισότροποι υδροφορείς ως προς το πορώδες που σημαίνει πως είναι δύσκολος ο χαρακτηρισμός/προσδιορισμός των υδροφορέων, η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων και επιπτώσεις. Η άντληση υπόγειου νερού σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές μετακινεί τη διεπιφάνεια που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας. Το τελευταίο προωθείται προς την ξηρά και στη συνέχεια αντλείται ποιοτικά

Διπλωματική Εργασία

υποβαθμισμένο (υφαλμύριση) ή ακόμα και θαλασσινό νερό. Το κυριότερο πρόβλημα που παρατηρείται, κυρίως από την αλόγιστη εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, είναι η πτώση της στάθμης του υδροφορέα που συνεπάγεται τόσο την αύξηση του κόστους άντλησης αλλά κυρίως το γεγονός πως θέτει κινδύνους για το ίδιο το οικοσύστημα καθώς η αναπλήρωσή του δεν γίνεται με γρήγορους ρυθμούς (Μαρής, 2014).

3. Προβλήματα σχετικά με το Νερό

Τα προβλήματα που σχετίζονται με το νερό κατηγοριοποιούνται σε ποσοτικά και ποιοτικά. Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε και με τις δύο αυτές κατηγορίες δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα ποιοτικά. Αρχικά γίνεται αναφορά στη θεμελιώδη σημασία που έχει η θεώρηση του νερού ως φυσικό αγαθό και όχι σαν εμπόρευμα, πράγμα που τα τελευταία χρόνια δείχνει να αμφισβητείται με τις πολιτικές που ακολουθούνται.

3.1 Νερό: Αγαθό ή εμπόρευμα;

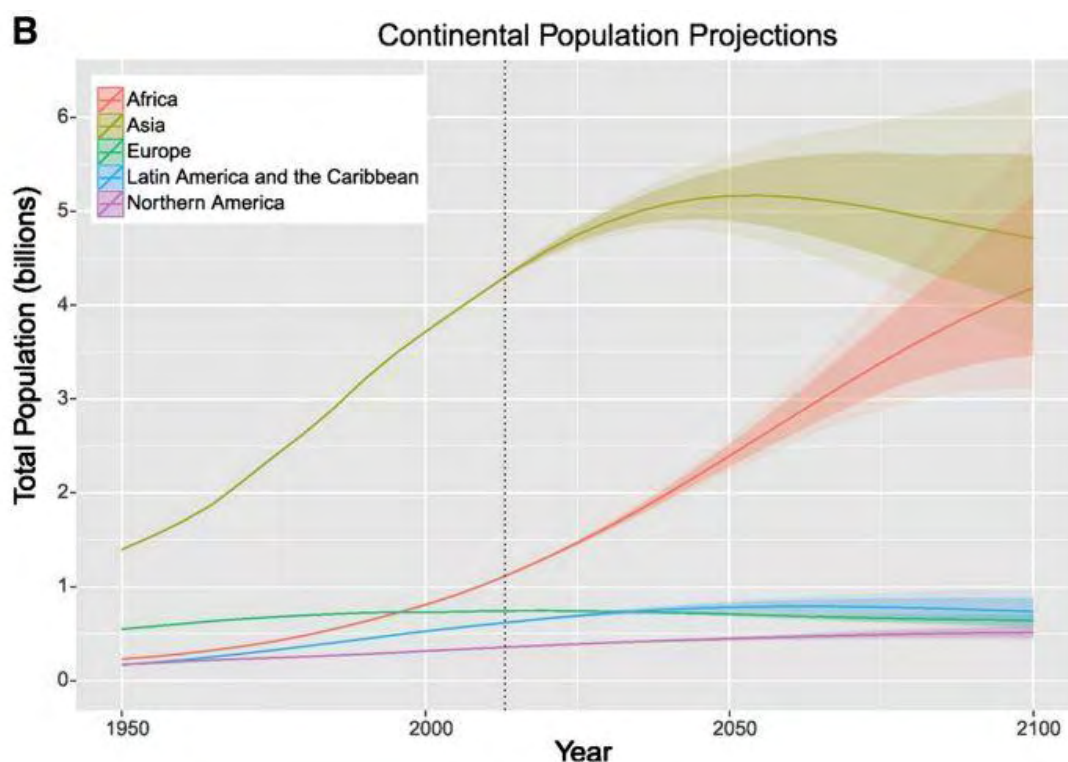
Ο προσδιορισμός του νερού ως αγαθό ή ως εμπόρευμα είναι κομβικής σημασίας διότι υπαγορεύει ευθέως τη δυνατότητα δημόσιας ή ιδιωτικής διαχείρισής του. Το 2000 εκδόθηκε η ευρωπαϊκή οδηγία – πλαίσιο 60/2000 στην οποία αναφέρεται ρητώς ότι το νερό δεν αποτελεί εμπόρευμα όπως τα άλλα προϊόντα αλλά κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της αντίστοιχης μεταχείρισης. Παράλληλα, στην ίδια οδηγία, γίνεται προτροπή προς τις χώρες να παρέχουν υπηρεσίες ύδατος σε λογική τιμή αλλά και προτροπή προς τους πολίτες να φροντίζουν και να συμμετέχουν στη διαδικασία διαχείρισης και προστασίας του νερού. Ο ΟΗΕ έχει προσδιορίσει την πρόσβαση σε νερό και αποχέτευση ως έναν από τους 17 στόχους για την αειφόρο ανάπτυξη. Την ίδια στιγμή επιθυμεί μέχρι το 2030 να έχει επιτευχθεί καθολική πρόσβαση του πληθυσμού σε ασφαλές και πόσιμο νερό.

Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια αμφισβητείται έντονα το κατά πόσο το νερό αποτελεί κοινωνικό αγαθό και όχι προϊόν κερδοφορίας και εκμετάλλευσης. Η κυριαρχία του νεοφιλελευθερισμού σε πολιτικό-οικονομικό επίπεδο έχει οδηγήσει σε αυτή την κατεύθυνση καθώς το νερό παρουσιάζεται σαν ένα προϊόν με «σταθερή πελατεία» και ως ένα μονοπώλιο με διασφαλισμένα κέρδη. Σε μια σειρά από χώρες του αναπτυγμένου κόσμου το νερό έχει ιδιωτικοποιηθεί με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του, πράγμα στο οποίο συμβάλει και το πρόβλημα της λειψυδρίας αλλά και η ολοένα μεγαλύτερη ζήτηση λόγω της αύξησης του βιοτικού επιπέδου. (Παρδαλίδης, Πέτρου 2005)

3.2 Ποσοτικά Προβλήματα

3.2.1 Λειψυδρία

Έχει γίνει πλέον σαφές ότι το νερό στη φύση δεν είναι ανεξάντλητο για αυτό το λόγω ολοένα και περισσότερες διαμάχες μεταξύ κρατών γίνονται για τον έλεγχο σημείων με πρόσβαση σε νερό, όπως για παράδειγμα στην περιοχή του Τίγρη και του Ευφράτη όπου η Τουρκία έχει αρχίσει την κατασκευή μεγάλων ταμιευτήρων – φραγμάτων πράγμα που μπορεί να διαταράξει τις ήδη τεταμένες συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή. Στοιχεία από παγκόσμιους οργανισμούς, όπως ο ΟΗΕ, επιβεβαιώνουν ότι το νερό δεν είναι ανεξάντλητο και υποστηρίζουν ότι η κρίση λειψυδρίας οφείλεται κατά βάση στην ολοένα και πιο ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης και στη μη διαθεσιμότητα του στον πλανήτη(Μπαν Κι Μουν, 2014).



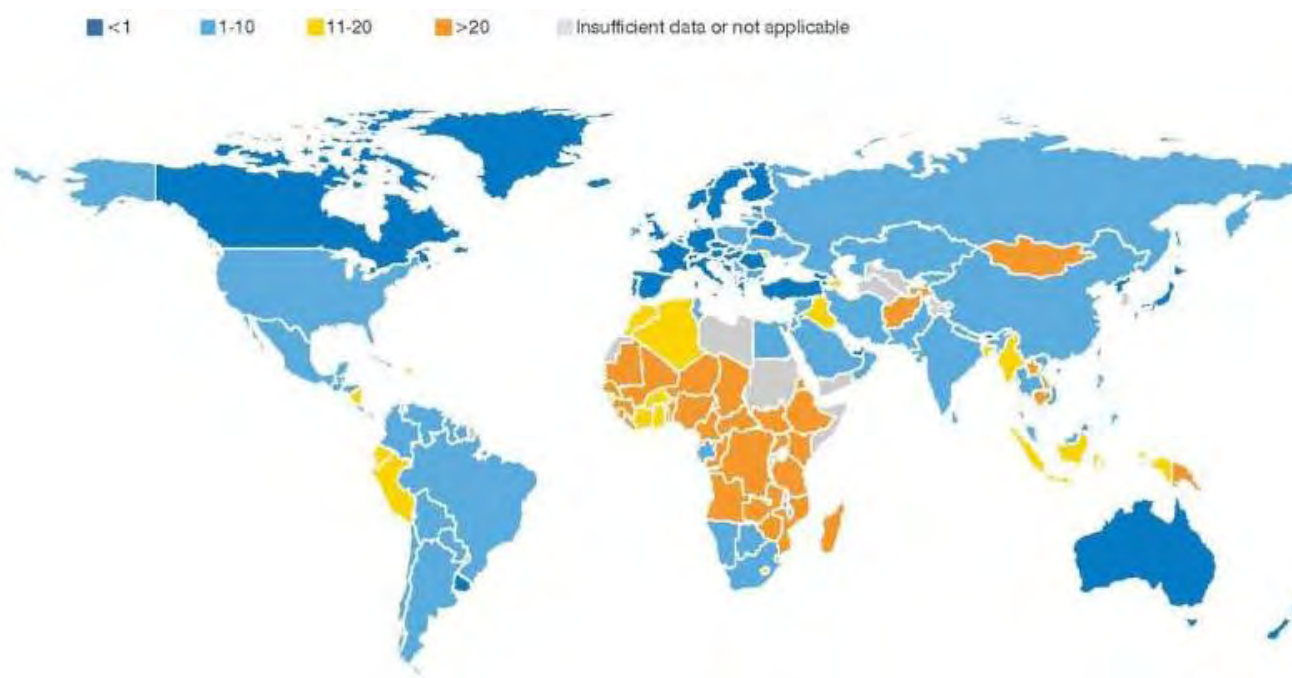
Εικόνα 6 : Πρόβλεψη για τον πληθυσμό της Γης (Πηγή : ΟΗΕ)

Η κρίση του νερού και η λειψυδρία δεν είναι όμως ένα φαινόμενο που επηρεάζει μόνο τις χώρες του λεγόμενου «αναπτυσσόμενου κόσμου». Είναι ένα φαινόμενο που βρίσκεται προ των πυλών και των χωρών του δυτικού κόσμου. Σύμφωνα με στοιχεία πάλι του ΟΗΕ στο 70% των ευρωπαϊκών

Διπλωματική Εργασία

πόλεων με πληθυσμό άνω των 100.000 κατοίκων, τα υπόγεια ύδατα καταναλώνονται, ρυπαίνονται και μολύνονται με ταχύτερους ρυθμούς από ότι αναπληρώνονται. Έτσι λοιπόν εκτιμάται ότι το 2025 τα 2/3 του πληθυσμού της Γης θα υποφέρει από έλλειψη νερού ικανού για ασφαλή κατανάλωση.

Τα χαρακτηριστικά της λειψυδρίας θα μπορούσαμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ως εξής : 1) μεγάλο μέρος των υδατικών αποθεμάτων κάθε χώρας δεν αξιοποιείται λόγω οικονομοτεχνικών ή περιβαλλοντικών αιτιών, 2) η ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων στο μέλλον θα είναι δαπανηρή καθώς έχουν αξιοποιηθεί όσες προσφέρονταν πιο εύκολα τεχνικά, 3) ο πληθυσμός της γης αυξάνεται, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση των αναγκών σε νερό, 4) το βιοτικό επίπεδο ανεβαίνει, που σημαίνει ότι το κατά κεφαλήν ζητούμενο νερό αυξάνεται επίσης. (Παρδαλίδης, Πέτρου 2005). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το ποσοστό του πληθυσμού κάθε χώρας που δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές νερό.



Εικόνα 7: Ποσοστό πληθυσμού χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές νερό (Πηγη : ΟΗΕ)

3.3 Ποιοτικά προβλήματα

Στη χώρα μας χαρακτηριστικά πρόσφατα παραδείγματα ρύπανσης με εξασθενές χρώμιο (Cr^{6+}) των εδαφών και των επιφανειακών υπογείων υδάτων εντοπίζονται στις ευρύτερες περιοχές του Ασωπού ποταμού, της Εύβοιας και της Αργολίδας. Επιπροσθέτως παραδείγματα ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων από νιτρικά συναντώνται σε αγροτικές περιοχές της Αργολίδας, Ηλείας, Θεσσαλικού κάμπου, Μακεδονίας. Πέραν της ρύπανσης με βαρέα μέταλλα, μεταλλοειδή ή ανόργανα ιόντα, η ρύπανση από οργανικές ενώσεις είναι εξίσου σημαντική, πολλές δε φορές περισσότερο έντονη από αυτήν των ανόργανων ενώσεων. Παραδείγματα αυτού του τύπου της ρύπανσης αποτελούν τα παράγωγα του πετρελαίου, οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται σε πολυάριθμες βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και διάφορα εντομοκτόνα με ευρύτατη χρήση στην γεωργία.

Ειδικότερα, οι ανόργανοι ρύποι αποτελούν περιβαλλοντικό πρόβλημα κρίσιμης σημασίας, καθώς δεν υπόκεινται σε φυσικές διεργασίες διάσπασης, και βιοαποικοδόμησης όπως συμβαίνει με τους οργανικούς ρύπους, πολλοί από τους οποίους μπορούν να διασπώνται χημικά και βιολογικά. Αντίθετα, παρουσία μικροοργανισμών ή συγκεκριμένων χημικών ενώσεων οι συγκεντρώσεις τους μπορεί ακόμη και να αυξάνονται σε υδατικά συστήματα. Σε κάποιες περιπτώσεις περισσότερο από το 99% της ποσότητας των βαρέων μετάλλων που εισέρχονται σε ποταμούς ή λίμνες βιοσυσσωρεύονται στα ιζήματα αυτών με κίνδυνο να επαναδιαλυθούν στο νερό εάν οι επικρατούσες συνθήκες (pH, οξειδοαναγωγικό δυναμικό κλπ) της περιοχής μεταβληθούν. Στην κατηγορία των ανόργανων ρύπων συμπεριλαμβάνονται τα βαρέα μέταλλα και τα μεταλλοειδή καθώς επίσης και διάφορα ανιόντα όπως νιτρικά, βρωμικά, χλωριόντα κλπ. Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για τη δημόσια υγεία, στις βιομηχανικές χώρες και όχι μόνο. Η παραγωγή τους σχετίζεται με ένα πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων με βασικότερη τη χρήση τους στη χημική βιομηχανία.

Τα μέταλλα και μεταλλοειδή δεν αφομοιώνονται, ούτε όμως αποβάλλονται από το σύστημα των οργανισμών, κατά συνέπεια βιοσυσσωρεύονται, και

μάλιστα εκλεκτικά σε ορισμένους ιστούς (συκώτι, νεφρά κ.λπ.) εμφανίζοντας έτσι συγκεντρώσεις πολλαπλάσιες από τις μέσες που οδηγούν σε παθήσεις όπως καρκίνος, εγκεφαλικά και νευρολογικά νοσήματα (Alzheimer, Parkinson, κ.α.), αλλεργίες κ.λπ.

Το πρόβλημα της ρύπανσης των υπόγειων νερών συνίσταται στην παρουσία επικίνδυνων χημικών ουσιών τόσο στα ίδια τα υπόγεια νερά, όσο και στα υπερκείμενα εδάφη, καθώς και στα ιζήματα των επιφανειακών υδάτων και της περιοχής του υδροφόρου ορίζοντα που έχει υποστεί τη ρύπανση. Το γεγονός αυτό καθιστά το σύστημα «υπόγεια νερά – ρύποι» ένα σύνθετο σύστημα του οποίου η μελέτη πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα προερχόμενα όχι μόνο από μετρήσεις του επιπέδου της ρύπανσης στα ίδια τα νερά, επιφανειακά και υπόγεια, αλλά και στο περιβάλλον έδαφος και ιζήματα. Επομένως, το σύστημα «έδαφος-υπόγεια νερά» πρέπει να αντιμετωπίζεται σε κάθε περίπτωση ως ένα ενιαίο σύστημα του οποίου η αποκατάσταση πρέπει να στοχεύει αφενός στην απομάκρυνση των ρύπων από την υδατική φάση, και αφετέρου την αδρανοποίηση των ρύπων στη στερεά φάση (έδαφος) ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος επιστροφής τους στο νερό. **(Ανδρέου, 2010)**

3.3.1 Ρύπανση από χλωριόντα

Η άρδευση σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και εναπόθεση των ανόργανων ενώσεων και αλάτων στην ακόρεστη ζώνη. Λόγω της εξάτμισης και της διαπνοής, η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό νερό αυξάνει, με αποτέλεσμα το νερό που διηθείται βαθιά να περιέχει διαλυμένα άλατα σε συγκεντρώσεις δύο και τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση. Στα διαπερατά εδάφη, η ποσότητα νερού που περνά τη ζώνη παρασέρνει τα διαλυμένα υλικά (ιδιαίτερα τα ιόντα χλωρίου, θειικών, νιτρικών και νατρίου) στα υπόγεια νερά. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μία σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. **(Αντωνόπουλος, 2010)**

Τα χλωριόντα συναντώνται σε γλυκά και αλμυρά νερά και αποτελούν βασικά στοιχεία της ζωής. Τα άλατα όπως το επιτραπέζιο αλάτι αποτελούνται από

ιόντα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν το επιτραπέζιο αλάτι αναμειγνύεται με νερό, τα ιόντα του νατρίου και του χλωρίου διαχωρίζονται καθώς διαλύονται. Τα χλωριόντα μπορούν να προέρχονται από χλωριούχο νάτριο ή από άλλα χλωριούχα άλατα όπως χλωριούχο κάλιο, χλωριούχο ασβέστιο και χλωριούχο μαγνήσιο. Η συγκέντρωση χλωριόντων αυξήθηκε απότομα σε πολλά υδατικά συστήματα, δεδομένης της ευρείας χρήσης του αλατος ως οδικό άλας κατά τη δεκαετία του 1970. Ωστόσο, οι οικολογικές συνέπειες αυτής της αλλαγής δεν έχουν ακόμη καθοριστεί πλήρως. Οι επιστήμονες που μελετούν τις λεκάνες απορροής χρησιμοποιούν αυξημένα επίπεδα χλωριόντων ως έναν δείκτη ρύπανσης σε ένα σώμα νερού. **(Holly Hunt, 2012)**

3.3.3.1 Φυσικά Χλωριόντα

Τα χλωριόντα αποτελούν περίπου το 0,05% του φλοιού της γης. Οι συγκεντρώσεις χλωρίου μεταξύ 1 και 100 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) είναι φυσιολογικές σε γλυκά νερά. Εντοπίζονται διαλυμένα σε υπόγειους υδροφορείς και σε γεωλογικούς σχηματισμούς που περιέχουν υπόγεια ύδατα. Στις παράκτιες περιοχές, χλωριόντα από αλμυρούς υδροφόρους ορίζοντες, από θαλάσσιο ψεκασμό και παράκτιες πλημμύρες μπορούν επίσης να βρεθούν στα γλυκά ύδατα. Το θαλασσίνο νερό έχει φυσική συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου 35.000 ppm. Έτσι, τα φυτά και τα ζώα που ζουν σε αλατισμένο ή υφάλμυρο (μεικτό αλάτι και φρέσκο) νερό προσαρμόζονται για να ζουν με υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων. Όταν τα χλωριόντα βρίσκονται σε ένα υδατικό σώμα, δεν υπάρχουν βιολογικές διεργασίες που να τα απομακρύνουν. Τυπικά, δεν απομακρύνονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού λόγω του υψηλού κόστους. Φυσικές μεταβολές στη συγκέντρωση χλωριόντων μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών περιόδων "χαμηλής ροής" όταν η εξάτμιση υπερβαίνει την κατακρήμνιση. Ωστόσο, οι πρόσφατες αυξήσεις στις συγκεντρώσεις χλωριόντων σε εθνικό επίπεδο (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής) θεωρείται ότι οφείλονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως το οδικό άλας, η μόλυνση λόγω εναπόθεσης λυμάτων και τα μαλακτικά νερού. **(Holly Hunt, 2012)**

3.3.3.2 Μέτρηση Χλωριόντων

Στο Πανεπιστήμιο του Rhode Island (University of Rhode Island) οι εθελοντές συνέλλεξαν δείγματα νερού για ανάλυση χλωριόντων την άνοιξη και το φθινόπωρο. Στο εργαστήριο, η δοκιμή χλωριόντων πραγματοποιήθηκε από το προσωπικό του Πανεπιστημίου χρησιμοποιώντας έναν εξελιγμένο αυτόματο αναλυτή, ο οποίος μπορεί να δοκιμάσει γρήγορα ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Οι ταινίες δοκιμής χλωρίου ήταν επίσης εμπορικά διαθέσιμες για οικιακή χρήση.

Επιπλέον, οι εθελοντές χρησιμοποίησαν μετρητές ή διαθλασίμετρα αλατότητας για τις εκβολές ποταμών, τους κόλπους και τον ωκεανό. Αυτές οι συσκευές μετρούν τη συγκέντρωση σε μέρη ανά χίλια (parts per thousand) και επομένως δεν είναι αρκετά ευαίσθητες για τη μέτρηση χλωριόντων σε γλυκό νερό. (Ένα μέρος ανά χίλια είναι 1000 φορές περισσότερο συγκεντρωμένο από ένα μέρος ανά εκατομμύριο). (Holly Hunt, 2012)

3.3.3.3 Άλλες πηγές χλωριόντων

Τα χλωριόντα μπορούν επίσης να εισέλθουν σε μια λεκάνη απορροής μέσω εκροής μαλακτικών νερού ή μόλυνσης λόγω λυμάτων. Τα μαλακτικά νερού απομακρύνουν τα ιόντα μαγνησίου και ασβεστίου από το σκληρό νερό πραγματοποιώντας αντίδραση ιοντικής ανταλλαγής με χλωριούχο νάτριο. Μικρές ποσότητες νατρίου εισέρχονται στο νερό που έχει περάσει από το μαλακτικό, ενώ χλωριούχο μαγνήσιο και χλωριούχο ασβέστιο αποθηκεύονται στη συσκευή και τελικά εκφορτώνονται ως άλμη (αλατόνερο) σε αποχετευτικό δίκτυο ή σε σηπτικό σύστημα.

Καθώς η πρόσληψη άλατος συνεχίζει να αυξάνεται στην αμερικανική διατροφή, περισσότερα χλωριόντα εισέρχονται στα υπόγεια ύδατα μέσω ανθρώπινων αποβλήτων. Το χλωριούχο νάτριο προστίθεται σε πολλές επεξεργασμένες τροφές για να καθυστερήσει την αλλοίωση, ενώ παράγει γεύση. Ωστόσο, τα χλωριόντα δεν απομακρύνονται από τα απόβλητα με διαδικασίες επεξεργασίας σηπτικών δεξαμενών και εισέρχονται στο πεδίο απόπλυσης με τα υπόλοιπα απόβλητα. Από εκεί, τα χλωριόντα μπορούν να

εισέλθουν στα υπόγεια ύδατα μέσω σηπτικών συστημάτων (σηπτικές δεξαμενές) και να οδηγηθούν σε λίμνες, ρυάκια και υγρότοπους.

Μία τρίτη ανθρωπογενής πηγή χλωριόντων στα υπόγεια ύδατα είναι το λίπασμα που παράγεται με ανθρακικό ασβέστιο ή άλατα εξόρυξης. Το χλωριούχο κάλιο είναι το αλάτι που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε λιπάσματα από ανθρακικό κάλιο, και το κάλιο (K^+ σε σάκους λιπασμάτων) είναι ένα από τα τρία βασικά θρεπτικά συστατικά, μαζί με το άζωτο (N) και το φωσφόρο (P) που προστίθενται για την αύξηση της γονιμότητας του εδάφους στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις γκαζόν. Ωστόσο, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος, το χλώριο μπορεί να διέλθει από τα γονιμοποιημένα εδάφη σε ποτάμια και ρέματα. (Holly Hunt, 2012)

3.3.3.4 Υπερβολική ποσότητα χλωριόντων

Οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων στα γλυκά ύδατα μπορούν να βλάψουν τους υδρόβιους οργανισμούς παρεμβαίνοντας στη βιολογική διαδικασία με την οποία διατηρούν τη σωστή συγκέντρωση άλατος και άλλων διαλυμένων ουσιών στα σωματικά υγρά τους. Η παρέμβαση στη βιολογική διεργασία, μπορεί να εμποδίσει την επιβίωση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή. Στο Rhode Island, το Τμήμα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Department of Environmental Management, DEM) έχει ορίσει αποδεκτά όρια έκθεσης συγκέντρωσης χλωριόντων για τους οργανισμούς γλυκού νερού στα 860 ppm για την πρόληψη οξείας (άμεσης) έκθεσης και στα 230 ppm για την πρόληψη χρόνιων (μακροπρόθεσμων) επιδράσεων έκθεσης. Για το πόσιμο νερό, η DEM έχει θέσει ένα μέγιστο επίπεδο ρύπων 250 ppm χλωριόντων, το οποίο είναι το σημείο στο οποίο το νερό αρχίζει να γίνεται αλμυρό. (Holly Hunt, 2012)

Ορισμένες έρευνες υποδεικνύουν ότι, με ορισμένες εξαιρέσεις, τα ψάρια είναι λιγότερο ευαίσθητα στην έκθεση σε χλωριόντα από τα μικρά-ελεύθερα πλανγκτόν (free-floating planktonic crustaceans). Αυτά τα πλαγκτονικά ζώα αποτελούν πηγή τροφής για τα ψάρια και τα αμφίβια και βοηθούν στον έλεγχο των φυκών που συμβάλλουν στον ευτροφισμό, δηλαδή, τη συσσώρευση θρεπτικών ουσιών που καταστρέφουν τις λίμνες οξυγόνου. Πρόσφατες

δημοσιευμένες έρευνες δείχνουν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων αλάτων είναι επιβλαβείς για πολλά υδρόβια ζώα.

Οι Meador και Carlisle (**Meador & Carlisle, 2007**) διαπίστωσαν ότι τα επίπεδα ανοχής χλωριόντων για ορισμένα είδη πέστροφας είναι ιδιαίτερα χαμηλά, αγγίζοντας τα 3,1 ppm. Η τοπική σαλαμάνδρα του Rhode Island παρουσιάζει μια μείωση κατά 40% στην επιβίωση όταν γεννήθηκε σε μια εαρινή πισίνα με συγκέντρωση χλωριόντων πάνω από 162 ppm. (Karraker, 2008). Τα υδατικά συστήματα των εαρινών λιμνών, τείνουν να έχουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων νωρίς την άνοιξη, όταν εκκολάπτονται τα αυγά, και το καλοκαίρι, όταν οι κάμπιες και οι γυρίνοι ενηλικιώνονται, δύο ιδιαίτερα ευαίσθητες περίοδοι στον κύκλο ζωής τους. (Karraker, 2008) (Holly Hunt, 2012).

Το διεισδυτικό και ταχέως αναπτυσσόμενο ευρασιατικό υδρόφυλλο είναι πιο ανεκτικό σε υψηλά επίπεδα χλωριόντων από τα φυσικά φυτά, αυξάνοντας έτσι τα επίπεδα χλωριόντων που θα μπορούσαν να τα βοηθήσουν να μην ανταγωνίζονται την ενδογενή πανίδα. (Evans & Frick, 2001). Οι Hale και Groffman (Hale & Groffman, 2006) διαπίστωσαν ότι τα αυξημένα επίπεδα χλωρίου παρεμπόδισαν τις διαδικασίες με τις οποίες τα βακτήρια καταστρέφουν το άζωτο σε φράγματα υποθαλάσσιων ρευμάτων, φυσικά φράγματα ραβδίων, πετρωμάτων και άλλων συντριμμίων. Η χρήση οδικών αλάτων στις βόρειες Ηνωμένες Πολιτείες δεν είναι πιθανό να λήξει στο εγγύς μέλλον και έτσι οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις των χλωριόντων στους υδροβιότοπους παραμένουν εμφανείς.

Σε παράκτιους υδροφορείς, όπου παρατηρείται υπεράντληση των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της υπαλμύρισης, δηλαδή η ανάμιξη γλυκού και αλμυρού νερού με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η συγκέντρωση των χλωρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα γεγονός που προκαλεί ρύπανση των υπόγειων υδάτων και καθιστά το νερό ακατάλληλο για χρήση (Μάρης, 2015)

3.3.3.5 Υφαλμύριση

Σύμφωνα με τους Todd and Mays, 2005, οι βασικότερες αιτίες υφαλμύρισης είναι οι παρακάτω :

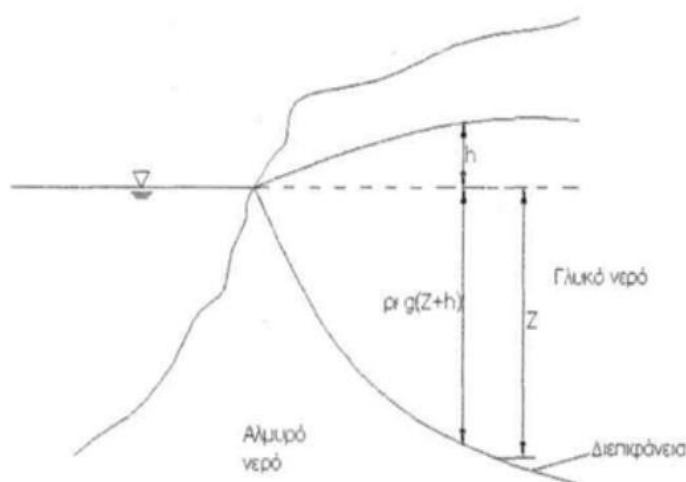
- Η αντιστροφή των υδατικών κλίσεων του υπόγειου ύδατος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση του γλυκού νερού από το αλμυρό λόγω της υψηλότερης τιμής της πυκνότητάς του
- Καταστροφή φυσικών φραγμάτων που διαχωρίζουν το γλυκό από το αλμυρό νερό
- Απόρριψη αλμυρού νερού το οποίο καταλήγει στον υδροφορέα μέσω χώρων διάθεσης αποβλήτων

Οι παραπάνω αποτελούν φυσικές αιτίες του φαινομένου. Υπάρχουν και ανθρωπογενείς αιτίες όπως οι παρακάτω:

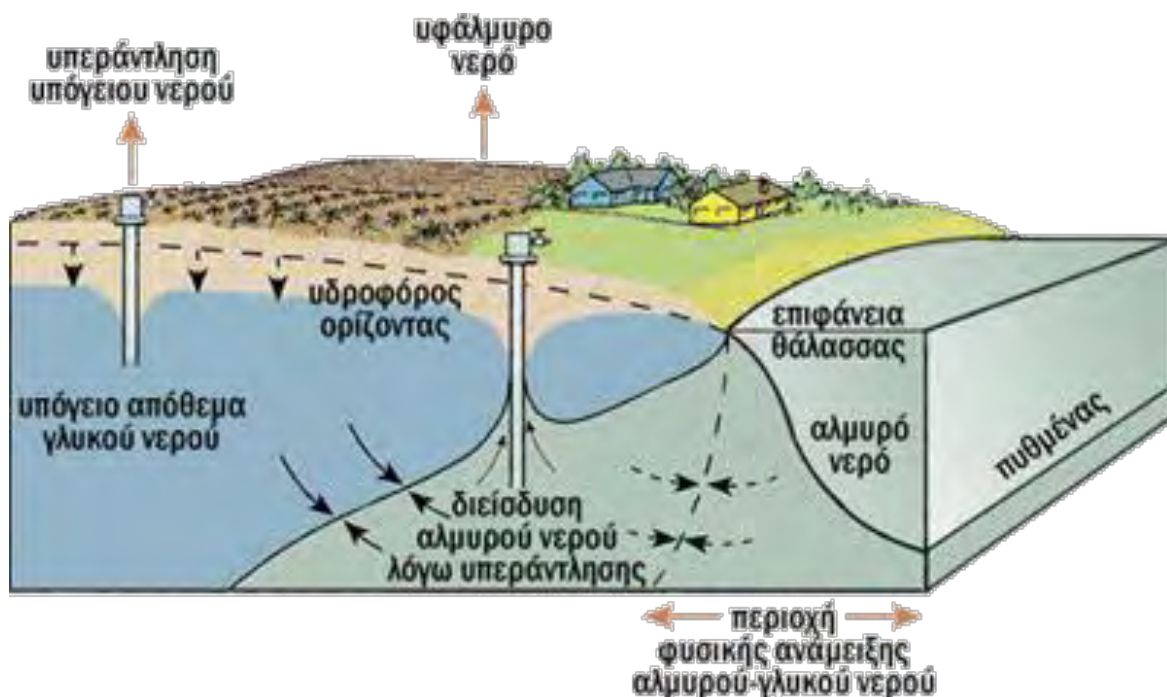
- Υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων
- Παραγωγή Υγρών αποβλήτων

Οι Ghyben και Herzberg ήταν οι πρώτοι που ασχολήθηκαν με αυτό το φαινόμενο. Στην παρακάτω εξίσωση που διατύπωσαν αποδεικνύουν ότι το αλμυρό νερό συναντάται σε βάθος ίσο με 40 φορές το ύψος του γλυκού νερού.

$$z = 40h$$



Εικόνα 8: Ισορροπία γλυκού και αλμυρού νερού σε παράκτιο υδροφορέα (Πηγή: Μάρης, 2015)



Εικόνα 9: Υφαλμύριση λόγω διείσδυσης αλμυρού νερού (Πηγή: Miller G. T., 1997: Living in the Environment - Προσαρμογή από το ΚΠΕ Καστοριάς, 2000)

Σημαντικό φαινόμενο ρύπανσης των υπόγειων υδατικών συστημάτων συνιστά και το φαινόμενο της νιτρορύπανσης, όπου παρατηρείται σε αγροτικές λεκάνες απορροής εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων

3.3.2 Ρύπανση από νιτρικά

Από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του ογδόντα παρατηρήθηκε ότι τα νιτρικά στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια. Η αιτία είναι η εκτεταμένη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων και των στερεών αποβλήτων (ζώων και λάσπης βιολογικών σταθμών). Τα τελευταία χρόνια τα περιβαλλοντικά προβλήματα επεκτείνονται σε παγκόσμια κλίμακα. Στα προβλήματα αυτά περιλαμβάνονται η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου από την αύξηση των εκπομπών κυρίως του CO₂, η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας από το λιώσιμο των πάγων των πόλων, οι μεγάλες και καταστροφικές πλημμύρες λόγω της αύξησης της ραγδαιότητας των βροχών και η ερημοποίηση νέων εκτάσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Από την ανασκόπηση αυτή γίνεται φανερό ότι τα προβλήματα παθογένειας, ελλείμματος οξυγόνου, ευτροφισμού και βαρέων μετάλλων με την έρευνα και

την ανάπτυξη τεχνικών είναι υπό έλεγχο. Το πρόβλημα όμως της υπέρβασης της συνιστώμενης ποσότητας νιτρικών και συνθετικών οργανικών ουσιών απαιτούν μία νέα και διαφορετική διαχείριση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. (Αντωνόπουλος, 2010)

Η ύπαρξη νιτρορρύπανσης στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, έχει χαρακτηριστεί ως σημαντική στις περιοχές του Αργολικού πεδίου (Αργολίδα), στη πεδιάδα της Θεσσαλίας (Πηνειός ποταμός), στην Κωπαΐδα και στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού Ηλείας. Μεμονωμένες περιπτώσεις ρύπανσης υδατικών πόρων (κυρίως επιφανειακών) παρουσιάζονται επίσης κοντά σε αστικά κέντρα και βιομηχανικές μονάδες που δεν λειτουργούν μονάδες επεξεργασίας των υγρών τους αποβλήτων, ενώ σημαντικά φορτία ρύπανσης μπορεί να μεταφέρονται από τους πολυεθνικούς ποταμούς της Βόρειας Ελλάδας (Έβρος, Νέστος, Στρυμόνας, Αξιός).

Στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια η μη σημειακή ρύπανση των νερών έχει αναδειχθεί σε μεγάλο πρόβλημα καθώς απειλεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες από όπου αντλούνται τα κύρια αποθέματα πόσιμου και αρδευτικού νερού. Αν και έχει γίνει πρόοδος στον έλεγχο των σημειακών πηγών ρύπανσης, η μη σημειακή ρύπανση είναι δύσκολο να ελεγχθεί και να αντιμετωπιστεί κυρίως λόγω του ότι προέρχεται από πολλές και διαφορετικές πηγές (π.χ. εκπλύσεις αγροτικών εκτάσεων).

3.3.2.1 Νιτρορύπανση

Ως νιτρορύπανση θεωρούμε την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων, με σημαντικότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη υγεία και την υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων. Η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών νερών λόγω νιτρικών αλάτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη χρήση λιπασμάτων στη γεωργία. Δεδομένης της μεγάλης διαλυτότητας των νιτρικών ιόντων, το άζωτο που προστίθεται σε διάφορες μορφές για τις ανάγκες θρέψης των φυτών οξειδώνεται τελικά σε νιτρικά και μεταφέρεται διαλυμένο στο νερό το οποίο απορρέει προς του επιφανειακούς αποδέκτες ή διεισδύει στους υπόγειους υδροφορείς. Ο ρυθμός μεταφοράς του νιτρικού αζώτου εξαρτάται από

πολλούς παράγοντες (βροχόπτωση, πορώδες έδαφος, τρόπος εφαρμογής της λίπανσης, κλίση εδάφους, κ.α.), αλλά ως μηχανισμός μεταφοράς παραμένει ο σημαντικότερος παράγων εμπλουτισμού των υδροφορέων σε αζωτούχες ενώσεις.

3.3.2.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Στα επιφανειακά νερά και ιδίως στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων αζωτούχων αλλά και φωσφορικών ενώσεων, με τη συνδρομή και της ηλιακής ακτινοβολίας, ενισχύει, συχνά σε υπερβολικό βαθμό, την ανάπτυξη υδρόβιας βλάστησης και φυτικών μικροοργανισμών στο νερό (φυτοπλαγκτόν), δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το φαινόμενο του ευτροφισμού. Στις συνέπειες του ευτροφισμού περιλαμβάνονται η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα του νερού, η δημιουργία τοξινών που σκοτώνουν τα ψάρια, η παραγωγή ενώσεων που προσδίδουν δυσάρεστη οσμή στο νερό και η εν γένει διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας.

Στα υπόγεια ύδατα, η νιτρορύπανση εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνουν σε επίπεδα που είναι απαγορευτικά για τη χρήση του νερού για σκοπούς ύδρευσης. Ως οριακή τιμή έχει καθορισθεί από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία η συγκέντρωση των 50 mg/L, ωστόσο ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 25 mg/L) δημιουργείται προβληματισμός για μακροχρόνια χρήση του νερού για πόση. (Παπαγιαννίδης, 2013)

Η λεκάνη απορροής του Αλμυρού είναι ένας παράκτιος υδροφορέας, όπου σημειώνεται υπερεκμετάλλευση των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών πόρων με αποτέλεσμα η στάθμη του υδροφορέα να πέσει και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας με αποτέλεσμα να συναντάται το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Επιπροσθέτως η λεκάνη απορροής του Αλμυρού όπου κυριαρχεί η αγροτική δραστηριότητα με αποτέλεσμα να γίνεται εκτεταμένη εφαρμογή αγροχημικών προϊόντων με κύριο συστατικό το άζωτο όπου οδηγεί στο φαινόμενο της νιτρορύπανσης.

3.4 Ρυθμιστικό Πλαίσιο ΔΥΠ

3.4.1 Όργανα και φορείς Διαχείρισης

Εθνική Επιτροπή Υδάτων

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων έχει ορισθεί από τον Ν. 3199 του 2003, ο οποίος ενσωματώνει την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά, ως το υψηλού επιπέδου διυπουργικό όργανο το οποίο έχει την ευθύνη χάραξης της πολιτικής για τη διαχείριση και προστασία των υδατικών Πόρων της χώρας. Ειδικότερα, χαράσσει την πολιτική για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, παρακολουθεί και ελέγχει την εφαρμογή της και εγκρίνει, μετά από εισήγηση του Υπουργού ΠΕΚΑ και γνώμη του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας.

Σύμφωνα με το νόμο 3199 του 2003 η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποτελείται από τους υπουργούς:

- α) Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ως Πρόεδρο,
- β) Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων
- γ) Οικονομικών,
- δ) Εσωτερικών,
- ε) Διοικητικής Μεταρρύθμισης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης,
- στ) Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας,
- ζ) Υγείας,
- η) Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Στην Επιτροπή μπορεί να συμμετέχουν, ύστερα από πρόσκληση του Προέδρου, και άλλοι Υπουργοί εφόσον συζητούνται θέματα αρμοδιότητάς

Διπλωματική Εργασία

τους, ενώ μετέχει και ο Υπουργός Εξωτερικών, όταν συζητούνται θέματα που αφορούν διακρατικά ύδατα.

Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων

Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων γνωμοδοτεί προς την Εθνική Επιτροπή Υδάτων για τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας, ενώ θα λαμβάνει γνώση της Ετήσιας έκθεσης, την οποία υποβάλλει η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, σχετικά με την κατάσταση του υδάτινου περιβάλλοντος της χώρας, την εφαρμογή της νομοθεσίας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, καθώς και για τη συμβατότητα με το κοινοτικό κεκτημένο.

Αποτελείται από 26 μέλη (εκπροσώπους κομμάτων και φορέων) και Πρόεδρο τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων θα συγκαλείται από τον Πρόεδρό του τουλάχιστον μία φορά το χρόνο.

4. Παρουσίαση της περιοχής μελέτης

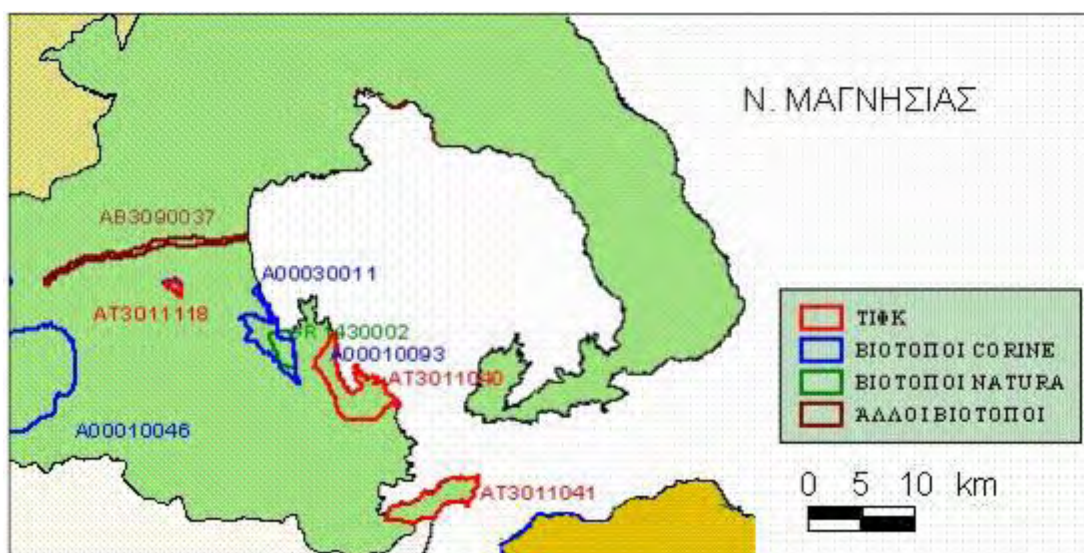
Η λεκάνη του Αλμυρού, το Κρόκιον πεδίο των αρχαίων , πήρε την ονομασία της από την ομώνυμη πόλη της περιοχής, η οποία είναι δήμος και επαρχία του νομού Μαγνησίας. Η ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού κατοικείται από την νεολιθική εποχή και την πρώιμη περίοδο του χαλκού. Η πόλη χτίστηκε στο σημείο αυτό στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, μετά από καταστροφές που υπέστη η αρχική ομώνυμη πόλη νοτιότερα κατά την τουρκοκρατία. Στη περιοχή μελέτης συναντάμε τον δήμο Αλμυρού (12.678 κάτοικοι από τους οποίους οι 2.513 είναι αγρότες) και τους δήμους Νέας Αγχιάλου (5.132 κάτοικοι με 1.002 αγρότες), Σούρπης (2.867 κάτοικοι, όλοι αγρότες), Πτελεού (2.485 κάτοικοι αγρότες) και την κοινότητα Ανάβρας (584 κάτοικοι, αγρότες) (στοιχεία Στατιστικής Υπηρεσίας, Απογραφή Πληθυσμού 2011).

Κύρια ενασχόληση των κατοίκων της περιοχής είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, η βιομηχανία και η βιοτεχνία. Στην πεδιάδα καλλιεργούνται δημητριακά, βαμβάκι, κτηνοτροφικά φυτά, ελαιόδεντρα και καρποφόρα δέντρα ενώ τμήμα της χρησιμοποιείται και ως βοσκότοπος. Υπάρχουν συνεταιριστικά βουστάσια με αξιόλογη παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων. Η βιομηχανία της περιοχής περιλαμβάνει ένα μεγάλο χαλυβουργείο και αρκετές μικρότερες βιομηχανικές μονάδες.

Στην περιοχή χαρακτηριστική είναι η παρουσία δύο λιμνών, τα Ζιλέρια ή Ζιρέλια, ενώ ένα χιλιόμετρο μακριά από την πόλη του Αλμυρού βρίσκεται το αισθητικό δρυόδασος Κουρί, έκτασης 1000 στρεμμάτων. Μεταξύ των δημοτικών διαμερισμάτων Πλατάνου και Σούρπης υπάρχει παράκτιος υγροβιότοπος (ελώδης έκταση 280 στρεμμάτων και θαλάσσιας έκτασης 750), ενώ απαντώνται και οι βιότοποι των Βουνών Γκούρας, του Όρμου Σούρπης-Στόμιο Μαγνησίας και του Ρέματος Χολόρρεμα, όπως και τα φυσικά τοπία του κόλπου Νηών Σούρπης και της χερσονήσου Τραγοβούνι.

Όνομα τόπου	Κωδικός	Κατηγορία
Αισθητικό Δάσος Κουρί Αλμυρού	AT3011118	Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους
Βουνά Γκούρας Μαγνησίας	AG0010046	Βιότοπος Corine
Έλος Σούρπης –Κουρί Αλμυρού	GR1430002	Βιότοπος Natura
Κόλπος Νηών Σούρπης	AT3011040	Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους
Κουρί Αλμυρού	AG0030011	Βιότοπος Corine
Όρμος Σούρπης / Στόμιο Μαγνησίας	AG0010093	Βιότοπος Corine
Ρέμα Χολόρρεμα Θεσσαλίας	AB3090037	Άλλοι Βιότοποι

Εικόνα 10: το σύνολο των βιοτόπων και τον τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλους που συναντώνται στην περιοχή μελέτης (Πηγή: <http://www.itia.ntua.gr/filotis/>)



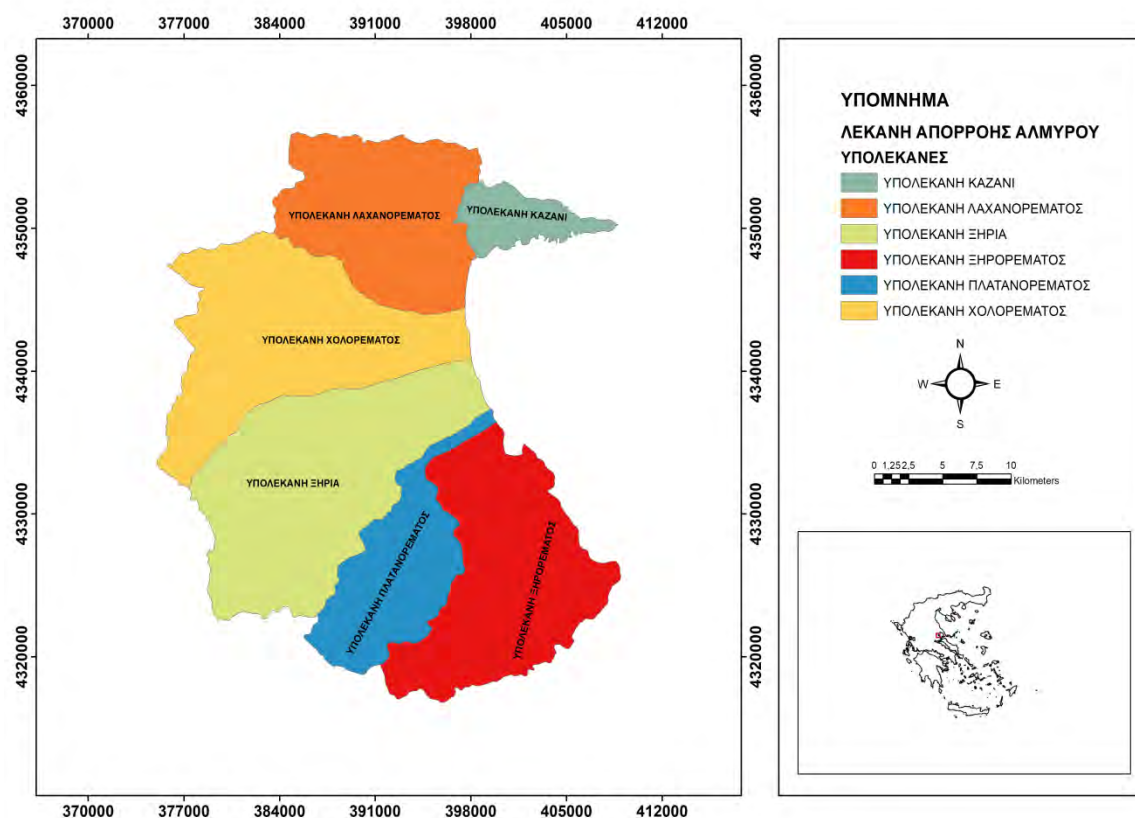
Εικόνα 11: Γεωγραφική θέση των βιοτόπων και των τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλους που συναντώνται στη περιοχή μελέτης (Πηγή: <http://www.itia.ntua.gr/filotis/>)

4.1 Γεωγραφική θέση και στοιχεία γεωμορφολογίας

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοανατολικό περιθώριο της θεσσαλικής λεκάνης και έχει γεωγραφικό μήκος 22°30' - 23°00' και πλάτος 39°00' - 39°15'. Βόρεια οριοθετείται από το Χαλκοδόνιο όρος, νότια και δυτικά από τον ορεινό όγκο της Όθρυος, και εκτείνεται ανατολικά μέχρι τον Παγασητικό κόλπο.

Η λεκάνη του Αλμυρού έχει έκταση περίπου 865 km² όπως υπολογίστηκε από το λογισμικό ArcMap 10.2.2 και αποτελεί τμήμα του ενιαίου βυθίσματος Αλμυρού-Παγασητικού. Τα 2/3 του βυθίσματος καλύπτονται ανατολικά από τον Παγασητικό κόλπο, σε βάθη μέχρι 100m, ενώ το 1/3 προς τα δυτικά αποτελεί την ημιορεινή ζώνη (υψόμετρο 200-300m) και την χαμηλού ανάγλυφου περιοχή του Αλμυρού (υψόμετρο μέχρι 200m).

Η περιοχή διαχωρίζεται μορφολογικά σε δύο κύριες υπολεκάνες, την υπολεκάνη της Ευξεινούπολης και την υπολεκάνη της Σούρπης. Από την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης του Αλμυρού προέκυψαν 6 υπολεκάνες, όπου οι 5 πρώτες εντάσσονται στην υπολεκάνη της Ευξεινούπολης και η τελευταία στην υπολεκάνη της Σούρπης.



Εικόνα 12: Υπολεκάνες λεκάνης απορροής Αλμυρού

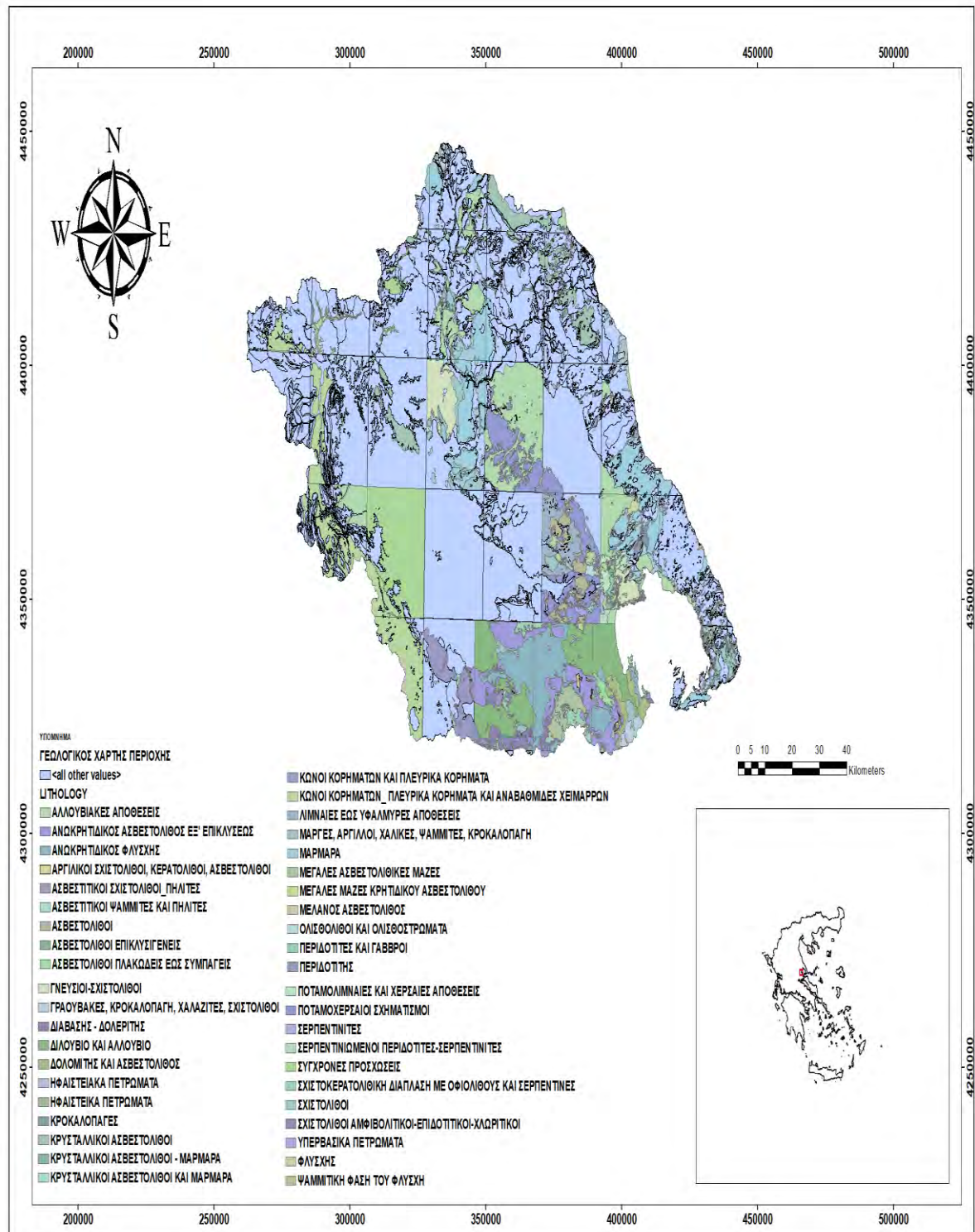
4.1.1 Γεωμορφολογία

Η σημερινή μορφή του ανάγλυφου της περιοχής του Αλμυρού οφείλεται αρχικά στην τεκτονική δράση που παρατηρείται από το Πλειόκαινο μέχρι σήμερα, με την επαναδραστηριοποίηση πολλών ρηγμάτων κατά το Τεταρτογενές, και δευτερευόντως στις κλιματολογικές συνθήκες και στη διαφορική διάβρωση των πετρωμάτων. Το κύριο χαρακτηριστικό της λεκάνης του Αλμυρού είναι ότι το ανατολικό τμήμα της παρουσιάζει μια σχετική βύθιση σε σύγκριση με το δυτικό, εξαιτίας νεοτεκτονικών δυνάμεων. Λόγω αυτής της διαφορικής κίνησης παρατηρούνται τα εξής στοιχεία (Γαλανάκης, 1997):

- Εντονότερο ανάγλυφο στο δυτικό τμήμα της λεκάνης συγκριτικά με το ανατολικό.
- Αρχαιολογικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα παράλια του Παγασητικού πιστοποιούν τη βύθιση των ακτών.
- Παρουσιάζεται εναπόθεση αλλουβιακών αποθέσεων ανατολικά της λεκάνης από τα ρέματα.
- Νοτιοδυτικά της λεκάνης παρατηρούνται ποτάμιες αναβαθμίδες.
- Επιφάνειες επιπέδωσης, οι οποίες παρατηρούνται σε διάφορες υψομετρικές θέσεις λόγω της ανυψωτικής δράσης στην περιοχή. Η καλή διατήρηση αυτών αποδίδεται τόσο στη λιθολογία τους (σε επίπεδα στρώσης μαρμάρων και ασβεστόλιθων), όσο και στην ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται η ανύψωση αυτή.
- Νεοτεκτονικές παρατηρήσεις επί της κίνησης των ρηγμάτων.

4.1.2 Γεωλογία

Γεωτεκτονικά η περιοχή μελέτης ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη. Για να προσδιορίσουμε τους σχηματισμούς από τους οποίους αποτελείται κρίνεται απαραίτητη η περιγραφή των αλπικών και μεταλπικών πετρωμάτων.



Εικόνα 13: Γεωλογικός χάρτης περιοχής

4.1.2.1 Αλπικά πετρώματα

Στα ορεινά συγκροτήματα της πεδιάδας του Αλμυρού συναντάμε πετρώματα της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας, έτσι απαντώνται η Υποπελαγονική ενότητα, η ενότητα της Αλμωπίας και οι προαλπικές σειρές οι οποίες σύμφωνα με κάποιους ερευνητές εντάσσονται στην Υποπελαγονική ενότητα.

Συγκεκριμένα απαντάται η εξής ακολουθία Υποπελαγονικής ενότητας (Μαρίνος, 1962):

- Γραουβάκες, κροκαλοπαγή, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι, μάργες, κερατοφυρικοί πράσινοι τόφφοι, οφιόλιθοι και στρώματα ή τράπεζες μαύρων ασβεστολίθων, κατά τόπους μεταμορφωμένα σε φυλλίτες, σχιστόλιθους, διμαρμαγυριακούς γνεύσιους και μάυρα ή λευκά μάρμαρα (Πέρμιο).
- Ασβεστόλιθοι, συμπαγής, λευκός έως μαύρος, δολομίτες κατά τόπους
- μεταμορφωμένοι σε μάρμαρα (Τριαδικό – Ιουρασικό)
- Σχιστοκερατόλιθοι με οφιόλιθους και σερπεντίνες (σύστημα αργιλικών σχιστόλιθων, κερατολίθων, μαργαικών ασβεστολίθων) ημιμεταμορφωμένοι έως μεταμορφωμένοι σε φυλλίτες, σχιστόλιθους, κερατόλιθους, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ή μάρμαρα (Τριαδικό-Ιουρασικό)
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με αργιλικούς ασβεστόλιθους, κερατολίθους ανθρακικά και κροκαλοπαγή και φλυσχικά ιζήματα (αργιλοψαμμίτες και στο ανώτερο Κρητιδικό ψαμμίτες με κροκάλες) στους ανώτερους ορίζοντες, κατά τόπους όλα ημιμεταμορφωμένα ή μεταμορφωμένα σε φυλλίτες, σχιστόλιθους και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ή μάρμαρα (Κρητιδικό) . Εντός του σχηματισμού αυτού συχνά απαντάται κάποια μεμονωμένη φάση οφιολιθικών πετρωμάτων του ωκεανού του Αξιού με τη μορφή ολισθολίθων (ηλικία επώθησης αν. Ιουρασικό- κατ. Κρητιδικό)

Διπλωματική Εργασία

Βόρεια της περιοχής μελέτης οι σχηματισμοί ανήκουν στην ενότητα της Αλμωπίας, η οποία πρόκειται για τη μεταμορφωμένη Υποπελαγονική ενότητα.

Συγκεκριμένα:

- Μάρμαρα, στα οποία μεσολαβεί κατά θέσεις ένας ορίζοντας από ασβεστιτικούς σχιστολίθους με παρεμβολές μεταβασιτών. Στο ανώτερο τμήμα των μαρμάρων συναντάμε μικρά βωξίτικα κοιτάσματα. (μέσο-ανώτερο Τριαδικό)
- Σχιστολιθικός σχηματισμός με μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες , με ενστρώσεις αδροκρυσταλλικών μαρμάρων (ανώτερο Ιουρασικό)
- Σύμπλεγμα πολυφασικών μεταμορφωμένων οφιολιθικών πετρωμάτων, επωημένο στα προηγούμενα πετρώματα κατά το ανώτερο Ιουρασικό-κατώτερο Κρητιδικό. Πρόκειται για γνεύσιους-σχιστογνεύσιους, αμφιβολιτικούς-επιδοιτικούς-χλωριτικούς σχιστόλιθους και σερπεντινωμένων περιδοιτών-σερπεντινιτών.

Ακολουθεί η κενομάνια επίκλυση, που συνδέεται με το κλείσιμο του ωκεανού του Αξιού κατά το ανώτερο Κρητιδικό, με την παρακάτω ακολουθία:

- Κροκαλοπαγές της ανωκρητιδικής επίκλυσης.
- Πλακώδεις μαργαϊκοί ή συμπαγείς ασβεστόλιθοι (ανώτερο Κρητιδικό)
- Πλακώδεις ως συμπαγείς ασβεστόλιθοι, συχνά μεταμορφωμένοι με φυλλίτες και λατυποπαγή (Μαιστρίχτιο)
- Φλύσχης (αργίλικοί ψαμμίτες, αργίλικοί σχιστόλιθοι, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι) ημιμεταμορφωμένος ως μεταμορφωμένος σε φυλλίτες και ψαμμίτες με ενδιαστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών ασβεστολίθων (ανώτερο Κρητιδικό).

4.1.2.2 Μεταλλικά πετρώματα

Η πεδιάδα της Ευξεινούπολης είναι καλυμμένη με φερτά χερσοποτάμια και λιμναία μεταλλικά ιζήματα. Τα λιμναία εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος του βορειοανατολικού–νοτιοδυτικού περιθωρίου της λεκάνης. Η απόθεση των υλικών αυτών άρχισε το κατώτερο Πλειόκαινο που τοποθετούνται ασύμφωνα πάνω στον φλύσχη και τους οφιόλιθους της περιοχής. Πιστεύεται ότι συνδέονται με το σύστημα λιμνών που είχαν αναπτυχθεί ήδη στο βόρειο ελληνικό χώρο και λειτουργούσαν από το μέσο–ανώτερο Μειόκαινο. Μετά τη λιμναία φάση ακολουθεί η απόθεση των ποταμοχερσαίων υλικών, τα οποία καλύπτουν και το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, μέχρι το κατώτερο–μέσο Πλειστόκαινο. Συγκεκριμένα απατώνται οι παρακάτω ακολουθίες (Γαλανάκης, 1997):

Κροκαλολατυποπαγή και αργιλοαμμούχα λιμναία υλικά περιοχής «Ανθότοπος» ηλικίας κατώτερου Πλειόκαινου. Τα συναντάμε κοντά στο χωριό **Ανθότοπος** ασύμφωνα πάνω στον κρητιδικό φλύσχη της περιοχής και βορειοδυτικά του χωριού Μικροθήβες, στην τοποθεσία Ιτιές, ασύμφωνα πάνω σε σχιστόλιθους και μάρμαρα ηλικίας Ιουρασικού. Η λιθοστρωματογραφική στήλη των ιζημάτων αυτών από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα μέλη είναι η ακόλουθη:

- Κροκαλολατυποπαγή μέτριας συνεκτικότητας. Η προέλευση των κροκάλων αυτών είναι από τον υποκείμενο φλύσχη και τους περιδοτίτες της περιοχής και σε μικρότερο βαθμό από ανθρακικά πετρώματα.
- Αργιλικά υλικά με κατά τόπους υψηλά ποσοστά άμμου, μέτριας συνεκτικότητας.
- Συνεκτικά κροκαλοπαγή με ψαμμιτικές, προερχόμενες από τον υποκείμενο ψαμμίτη, και λιγότερο ασβεστολιθικές και περιδοτιτικές κροκάλες. Το συνδετικό υλικό είναι αργιλικό.

- Αργιλοαμμούχα καστανοκόκκινα ημισυνεκτικά υλικά, με φακοειδείς ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Το συνδετικό υλικό είναι αργιλικό με υψηλό ποσοστό άμμου.

Σχηματισμός «Νεοχωράκι» ηλικίας Πλειοκαίνου. Ο σχηματισμός αυτός άλλοτε επίκειται των κροκαλοπαγών και των αμμούχων υλικών της βάσης, τα οποία περιγράφηκαν παραπάνω, στις θέσεις Ανθότοπος και Ιτιές, και άλλοτε στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής (ασβεστόλιθοι του Τριαδικού–Ιουρασικού και ανωκρητιδικός φλύσχης). Τα κατώτερα μέλη του σχηματισμού αυτού απατώνται στο νότιο τμήμα της λεκάνης, μεταξύ Αλμυρού και Νεοχωρακίου, ενώ τα ανώτερα στην ευρύτερη περιοχή του Αργιλοχωρίου. Η λιθοστρωματογραφική στήλη των λιμναίων αυτών ιζημάτων από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα μέλη είναι η ακόλουθη:

- Πηλός, αμμοάργιλος και άμμος με ενστρώσεις από ψηφίδες, λεπτές ενστρώσεις καθαρής πηλού, ενώ κατά θέσεις παρατηρούνται ανθρακικά συγκρίματα.
- Συνεκτική απολιθωματοφόρα μάργα σε πάγκους, η οποία εναλλάσσεται με λιγνιτικά στρώματα..
- Αργιλική μάργα με λεπτές φακοειδείς ενστρώσεις ξυλίτη.
- Αργιλική μάργα με ασβεστομικριτικούς πάγκους φάσης caliche, με πολλά οξείδια του σιδήρου και ασβεστιτικά συγκρίματα.

Με βάση τα δείγματα που ελήφθησαν από τα κατώτερα μέλη και τις λιγνιτοφόρες αποθέσεις του σχηματισμού αυτού, προκύπτει ότι στην περιοχή αναπτύχθηκε μια πλούσια μικροχλωρίδα κάτω από θερμές και υγρές κλιματολογικές συνθήκες κατά το κατώτερο Πλειόκαινο. Τα κοιτάσματα αυτά λιγνιτών είναι σήμερα ανεκμετάλλευτα. Αντίθετα η παρουσία των ασβεστομικριτικών ιζημάτων της φάσης caliche μαρτυρούν την επικράτηση, για μεγάλα διαστήματα, συνθηκών ημιξηρασίας κατά το ανώτερο Πλειόκαινο.

Σχηματισμός «Καλύμματα». Πρόκειται για ποταμολιμναία ιζήματα, τα οποία απαντώνται βόρεια και βορειοδυτικά του χωριού Αϊδίνιο και είναι πλευρικά

τοποθετημένα στα προηγούμενα λιμναία ιζήματα. Συνεπώς εμμέσως προκύπτει ότι η ηλικία τους είναι ανώτερου Πλειοκαίνου. Το υπόβαθρο των σχηματισμών αυτών είναι κυρίως οφιόλιθοι, ενώ η ακολουθία τους είναι η εξής:

- Αργιλικά ως αργιλοαμμούχα ημισυνεκτικά υλικά, εντός των οποίων συναντάμε περιδοιτικές λατύπες και μικρές ενστρώσεις μικρολατυπποπαγών.
- Άμμοι ημισυνεκτικοί και συνεκτικοί πάγκοι με αραιές διασταυρωμένες ενστρώσεις μικρολατυπποπαγών, οι οποίες κατά τόπους πλευρικά μεταπίπτουν σε λατυπποπαγή.
- Μέτριας συνεκτικότητας ως ημι-χαλαρά λατυποκροκαλοπαγή υπό μορφή πάγκων, με θεμελιώδη μάζα περιδοιτικής από το υποκείμενο οφιολιθικό σύμπλεγμα και συνδετικό υλικό αμμοαργιλικής σύστασης.

Σχηματισμός «Πέρδικας». Πρόκειται για ποταμοχειμάρρια υλικά και απατώνται στο βόρειο και βορειοδυτικό περιθώριο της λεκάνης του Αλμυρού, κυρίως μεταξύ των χωριών Πέρδικα και Μαυρόλοφος. Υπέρκεινται πλευρικά των λιμναίων λιγνιτοφόρων ανώτερων μελών του σχηματισμού «Νεοχωρακίου» και εμμέσως προκύπτει η ηλικία του σχηματισμού ανώτερο Πλειόκαινο – κατώτερο Πλειστόκαινο. Το υπόβαθρο είναι κατά τόπους ασβεστόλιθοι και φλύσχης κρητιδικής ηλικίας, ενώ μια τυπική ακολουθία είναι η ακόλουθη:

- Λατυπποπαγείς ισχυρά συνεκτικές αποθέσεις από ασβεστολιθικές κυρίως και σε μικρότερο βαθμό ψαμμιτικές (από το φλύσχη) λατύπες.
- Αργιλοαμμούχα υλικά με φακοειδείς ενστρώσεις ημισυνεκτικών λατυπποπαγών, με λατύπες κυρίως περιδοιτικής και λιγότερο ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης.

- Αργιλικά υλικά μέτριας συνακτικότητας, με συχνή παρουσία φακοειδών ενστρώσεων από ψαμμίτες και μικροκροκαλοπαγή με χαρακτηριστική διασταυρωμένη στρώση.

Σχηματισμός «Χολορρέματος». Ποταμοχερσαία υλικά βόρεια του Αλμυρού και κατά μήκος του ρέματος Χολόρεμα. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία κερατολίθων του αλπικού υποβάθρου της περιοχής, οι οποίοι και προσδίδουν ένα καστανοκόκκινο χρώμα στις αποθέσεις. Υπέρκεινται πλευρικά και προς τα πάνω των λατυποπαγών και αργίλων του σχηματισμού «Περδίκας» και συνεπώς η ηλικία τους μπορεί να θεωρηθεί κατωτέρου Πλειστοκαίνου. Συναντάται η ακόλουθη λιθοστρωματογραφική στήλη:

- Συνεκτικά κροκαλοπαγή σε πάγκους, με κροκάλες ασβεστιτικής και λιγότερο κερατολιθικής σύστασης. Το συνδετικό υλικό είναι αργιλικό και ενίοτε αμμοαργιλικό καστανοκόκκινου χρώματος.
- Αργιλοαμμούχα ημισυνεκτικά υλικά με αραιά ασβεστιτικά συγκρίματα και λεπτές ενστρώσεις συνεκτικών και σκληρών ψαμμιτών.
- Σκούροι κόκκινοι αργιτικοί πάγκοι με διάσπαρτες λατύπες ασβεστιτικής και κερατολιθικής σύστασης.
- Μη συνεκτικά κροκαλοπαγή με θεμελιώδη μάζα ασβεστιτικής και κερατολιθικής σύστασης και αμμοαργιλικό συνδετικό υλικό.

Σχηματισμός Αλμυρού. Πρόκειται για κροκαλοπαγή με μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση, που απατώνται στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Αλμυρού. Η απόθεσή τους έχει προέλθει από τη δράση του χείμαρρου Ξεριά κατά το κατώτερο – μέσο Πλειστόκαινο, όπως συμπεραίνεται από την πλευρική σχέση των σχηματισμών αυτών και των κροκαλοπαγών του σχηματισμού «Χολορρέματος» και διαφέρουν από θέση σε θέση με γρήγορες πλευρικές μεταβάσεις. Συναντώνται αδιαβάθμιτα μέτριας έως μικρής συνεκτικότητας κροκαλοπαγή με ασβεστιτική θεμελιώδη μάζα και αμμοαργιλικό ερυθρού χρώματος συνδετικό υλικό. Οι κροκάλες είναι διατεταγμένες σε στρώσεις, όχι όμως ταξινομημένες κατά μέγεθος, και αποστρογγυλωμένες. Πάχος

σχηματισμού ως και 80m. Ανατολικά της υπολεκάνης της Ευξεινούπολης, παράλληλα της θαλάσσιας ακτής και σε μια ζώνη από 2km έως 3,5km απαντώνται ολοκαινικά ιζήματα και συγκεκριμένα αλλουβιακές αποθέσεις από ασύνδετα υλικά (άμμους, κροκάλες, λατύπες, παράκτια κροκαλοπαγή, κυρίως κερατολιθικής και λιγότερο ασβεστολιθικής και σχιστολιθικής συστάσεως). Η μεταβολή της περιεκτικότητας των αδρομερών υλικών εμφανίζεται τόσο κατά την οριζόντια διεύθυνση, όσο και κατά την κατακόρυφη. Αναφέρεται τέλος η παρουσία κώνων κορημάτων και πλευρικών κορημάτων ανατολικά και δυτικά της Νέας Αγχιάλου πλειστοκαινικής ηλικίας και σε μικρή έκταση νότια της λεκάνης ολοκαινικής ηλικίας. Τα υλικά στην πρώτη περίπτωση αποτελούνται από λατύπες σε λεπτές στρώσεις, μέτρια συγκολλημένες με ασβεστιτικό υλικό υποκίτρινου χρώματος, κυρίως Βούρμιας ηλικίας. Η υπολεκάνη της Σούρπης έχει πληρωθεί αποκλειστικά με κλαστικά υλικά κατά τη διάρκεια του ανώτερου Πλειστοκαίνου – Ολοκαίνου. Μπορούν να αναγνωριστούν τρεις γενιές κλαστικών, οι οποίες και περιγράφονται παρακάτω (Γαλανάκης, 1997):

- Πολύ συνεκτικά λατυποπαγή στρωμένα σε πάγκους. Η θεμελιώδης μάζα είναι ασβεστολιθικής σύστασης και το συνδετικό υλικό είναι ασβεστιτικό, ανοικτού ερυθρού έως καστανού χρώματος. Η απόθεσή τους πιστεύεται ότι πραγματοποιήθηκε κατά το Μινδέλιο.
- Μη συνεκτικά λατυποπαγή που τοπικά γίνονται συνεκτικά και υπέρκεινται πλευρικά του προηγούμενου σχηματισμού. Οι λατύπες είναι κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης, ενώ κατά θέσεις απατώνται διάσπαρτες περιδοιτικές και λιγότερες ραδιολαριτικής σύστασης. Το συνδετικό υλικό είναι άμμοαργιλικό ανοικτού ερυθρού χρώματος. Τοπικά παρατηρούνται φακοειδείς ενστρώσεις μικρού πάχους αργιλοαμμούχου υλικού. Ο σχηματισμός του τοποθετείται το Ρίσσιο.
- Ημιχαλαροί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα με ασβεστολιθική θεμελιώδη μάζα και αμμοαργιλικό συνδετικό υλικό. Σχηματίστηκαν κατά το Βούρμιο.

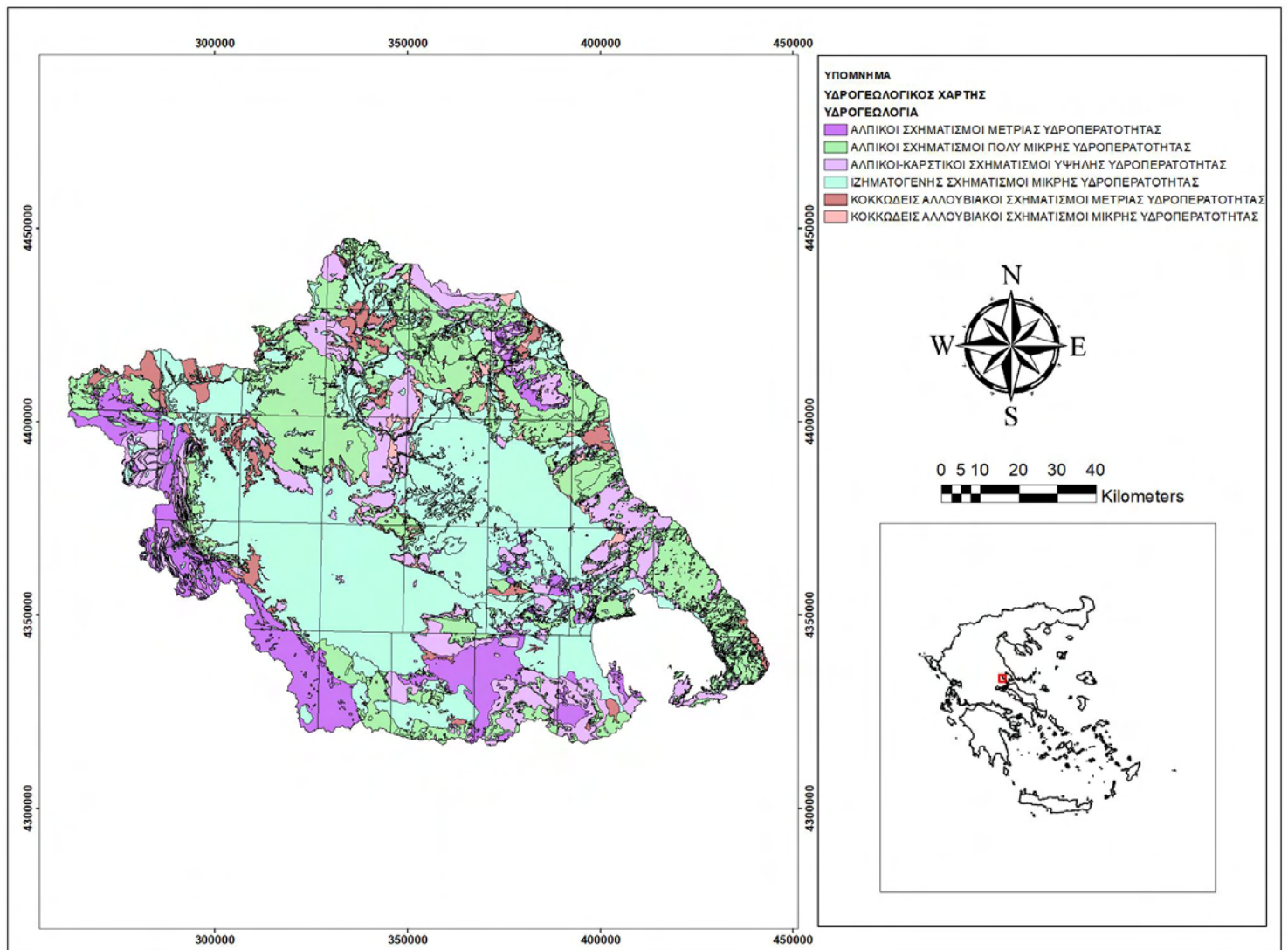
4.1.2.3 Ηφαιστιογενή πετρώματα

Πρόκειται για τα παρακάτω πετρώματα :

- Ανδεσιτικές λάβες «Τούμπανου». Τοποθετούνται βόρεια της Γλύφας και επικάθινται τριαδικών δολομιτών της περιοχής. Η ηλικία τους με χρονολόγηση προκύπτει 3,4–2,7 (Μα) εκ. ετών, και συνεπώς η ενεργοποίηση του ηφαιστείου τοποθετείται κατά το ανώτερο Πλειόκαινο.
- Λάβες «Μικροθηβών» και «Πορφυρίωνα». Βόρεια και ανατολικά των Μικροθηβών απατώνται ηφαιστειακά πετρώματα από το ομώνυμο ηφαίστειο, ενώ ανατολικά της Νέας Αγχιάλου μικρή εμφάνιση ηφαιστειακών που αναφέρονται ως λάβες «Πορφυρίωνα». Πρόκειται για βασαλτικές λάβες και υπολογίζεται ότι η δράση των ηφαιστείων αυτών έλαβε χώρα κατά το κατώτερο Πλειστόκαινο (Fytikas et al , 1984). Οι βασαλτικές αυτές λάβες έχουν καστανό έως καστανέρυθρο χρώμα, με πορφυριτικό ιστό και κισσηρώδη υφή, μεγάλο ποσοστό ολιβίνη και μικρότερο ποσοστό πυροκλαστικών. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν μέρος της ηφαιστειακής ομάδας της περιοχής «Βόλος – Αταλάντη», η οποία αποτελεί μέρος του βορειότερου τμήματος του νοτίου ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου και η οποία αποτελείται από μικρές εμφανίσεις λάβας νοτιοδυτικής-βορειοανατολικής διεύθυνσης, κατά μήκος της νοτιοδυτικής επέκτασης του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας.

4.1.3 Υδρογεωλογία

Με βάση την γεωλογική σύνθεση της περιοχής όπως περιγράφηκε, προκύπτει η ακόλουθη υδρολιθολογική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντώνται στην περιοχή της λεκάνης του Αλμυρού.



Εικόνα 14: Υδρογεωλογικός χάρτης

Αλπικά πετρώματα

• Υποπελαγονική Ενότητα

Υπόβαθρο (Πέρμιο): Με βάση τη δομή και λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων (γραιοβάκες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι, μάργες, τόφφοι, οφιόλιθοι, φυλλίτες και γνεύσιοι) που το αποτελούν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για πρωτογενώς υδροστεγανό σχηματισμό. Στα λεπτά στρώματα ή τράπεζες ασβεστόλιθου ή μαρμάρου δεν αναμένετε υδροφορία λόγω της μικρής του έκτασης. Καθώς αποτελούν το σχετικά αυτόχθονο της περιοχής μελέτης και συνεπώς υπόκεινται της ανθρακικής σειράς του Τριαδικού–Ιουρασικού, ο ρόλος του στη διαμόρφωση υπόγειων καρστικών υδροφόρων είναι καθοριστικός. Ωστόσο, λόγω της αυξημένης τεκτονικής καταπόνησης του σχηματισμού αυτού, δεν αποκλείεται η παρουσία δευτερογενούς υδροφορίας.

Ανθρακική σειρά (Τριαδικό–Ιουρασικό) : Πρόκειται για ασβεστόλιθους και συμπαγείς δολομίτες. Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα εμφανίζονται έντονα διαρρηγμένα και καρστικοποιημένα, με συνέπεια την υψηλή υδροπερατότητα, τον μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης και την ανάπτυξη αξιόλογων υδροφόρων εντός της μάζας τους.

Σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Τριαδικό–Ιουρασικό, Κρητιδικό): Χαρακτηριστικό της είναι η παρουσία κυρίως υδροστεγανών πετρωμάτων (οφιόλιθοι, σερπεντίνες, αργιλικόι σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι, αργιλικόι ασβεστόλιθοι και αργιλοψαμμίτες) και σε μικρότερο βαθμό κρυσταλλικών ασβεστόλίθων.

• Ενότητα Αλμωπίας:

Μοσχοβοτικοί σχιστόλιθοι–φυλλίτες (ανώτερο; Ιουρασικό): Πρόκειται κυρίως για υδροστεγανά πετρώματα, με ενστρώσεις κατά θέσεις ενός ορίζοντα που αποτελείται από μάρμαρα, σιπολίνες και χαλαζίτες. Η μικρή εξάπλωση των μαρμάρων και η παρουσία των σιπολινών και χαλαζιτών καθιστούν τον ορίζοντα αυτό μικρού, από υδρολογική άποψη, ενδιαφέροντος.

Διπλωματική Εργασία

Σύμπλεγμα πολυφασικών μεταμορφωμένων οφιολιθικών πετρωμάτων. Από τη λιθολογική σύσταση του συμπλέγματος (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και σερπεντινωμένοι περιδοίτες ή σερπεντινίτες) προκύπτει ότι πρόκειται πρακτικά για υδροστεγανό σχηματισμό, χωρίς να αποκλείεται η παρουσία τοπικά υπόγειων υδροφοριών σε ζώνες έντονης σερπεντινίωσης και κερματισμού των πετρωμάτων.

• **Επικλυσιογενές ανωκρητιδικό Κάλυμμα:**

Κροκαλοπαγές της επίκλησης: Πρόκειται για ασβεστιτικούς ψαμμίτες και πηλίτες με διάσπαρτες ασβεστιτικές και σχιστολιθικές κροκαλολατύπες. Αν και το συνδετικό υλικό του κροκαλοπαγούς είναι κατά κύριο λόγο ασβεστιτικό, ο σχηματισμός αυτός είναι τόσο συμπαγής ώστε να συμπεριφέρεται ως αδιαπέρατος.

Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Πλακώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μέσο ως παχυστρωματώδεις και κατά τόπους άστρωτοι, τεφροί, κρυσταλλικοί και τοπικά δολομιτιωμένοι. Εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένοι, όμως παρατηρείται μια σταδιακή πλήρωση των εγκοίλων από αργιλικά υλικά κατά τη διεύθυνση από ανατολή προς δύση. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη σταδιακή μείωση της υδροπερατότητάς τους κατά τη διεύθυνση αυτή. Ανατολικά παρατηρείται ικανοποιητική υδροφορία, η οποία εμφανίζεται κατά μήκος προνομιακών αγωγών.

Φλύσχης (μέσο Σενώνιο–Παλαιόκαινο): Αποτελείται από μεσοκοκκώδεις ως αδρόκοκκους ψαμμίτες, αργιλικούς ψαμμίτες, αργιλικούς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις κλαστικών ασβεστόλιθων. Αν και στο σύνολό του ο φλύσχης θεωρείται αδιαπέρατος, δυτικά εμφανίζεται αξιόλογη για το σχηματισμό αυτό υδροφορία, καθώς επικρατούν οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή.

Μεταλλικά πετρώματα

Σχηματισμός Ανθότοπου (κατώτερο Πλειόκαινο): Χαρακτηρίζεται από υλικά λιμναίας φάσης γένεσης και συγκεκριμένα αποτελείται από

Διπλωματική Εργασία

κροκαλολατυποπαγή μέτριας συνεκτικότητας, αργιλοαμμούχα υλικά και συνεκτικά κροκαλοπαγή με αργιλικό συνδετικό υλικό. Με βάση την παραπάνω λιθολογία συμπεραίνεται η αδιαπέρατη φύση του σχηματισμού, καθώς επικρατούν τα αργιλικά συστατικά.

Σχηματισμός Νεοχωράκι (Πλειόκαινο): Λιμναία ιζήματα και συγκεκριμένα πηλός, αμμοάργιλος, άμμος και αργιλική μάργα. Πρόκειται για σχηματισμό με πολύ μικρή υδροφορία.

Σχηματισμός Καλύμματα (ανώτερο Πλειόκαινο): Ποταμολιμναία ιζήματα, των οποίων η ακολουθία αποτελείται κυρίως από αργιλικά ως αργιλοαμμούχα ημισυνεκτικά υλικά, ημισυνεκτικούς άμμους, λατυποκροκαλοπαγή με αμμοαργιλικής σύστασης συνδετικό υλικό. Ο σχηματισμός αυτός είναι πρακτικά αδιαπέρατος.

Σχηματισμός Πέρδικας (Πλειόκαινο–κατώτερο Πλειστόκαινο): Πρόκειται για ποταμοχειμάρρια υλικά και συγκεκριμένα συνεκτικές λατυποπαγείς αποθέσεις, αργιλοαμμούχα υλικά και αργιλικά μέτριας συνεκτικότητας. Από υδρολογικής άποψης δεν έχουν ενδιαφέρον.

Σχηματισμός Χολορρέματος (κατώτερο Πλειστόκαινο): Η ακολουθία του συγκεκριμένου σχηματισμού περιλαμβάνει συνεκτικά κροκαλοπαγή, αργιλοαμμούχα ημισυνεκτικά υλικά, αργιλικούς πάγκους και μη συνεκτικά κροκαλοπαγή με ασβεστιτικής σύστασης θεμελιώδη μάζα. Μπορεί να εμφανίσουν μικρή υδροφορία στα κροκαλοπαγή.

Σχηματισμός Αλμυρού (κατώτερο–μέσο Πλειστόκαινο): Αδιαβάθμιτα, μέτριας ως μικρής συνεκτικότητας κροκαλοπαγή με ασβεστιτική θεμελιώδη μάζα και αμμοαργιλικό συνδετικό υλικό. Στον σχηματισμό αυτό αναμένεται υδροφορία.

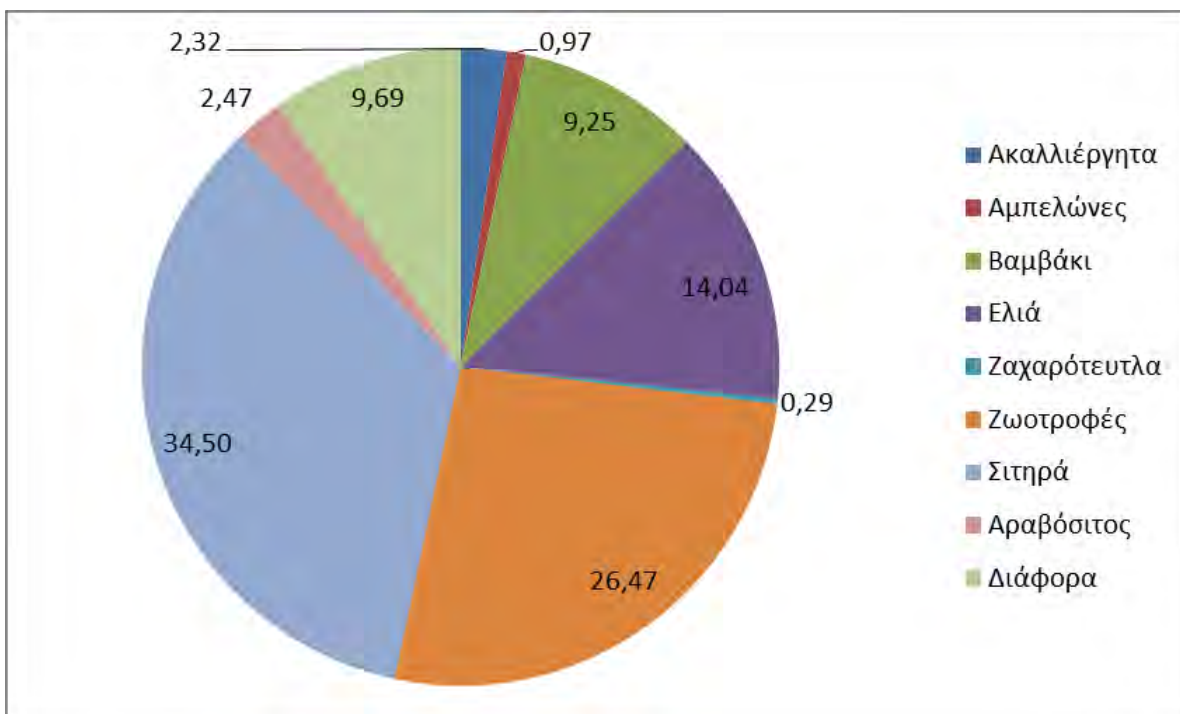
Ολοκαινικά ιζήματα: Πρόκειται για σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων, παράκτιες αποθέσεις, κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα. Στους σχηματισμούς αυτούς αναμένεται υδροφορία, καθώς πρόκειται για χαλαρούς, αδρόκοκκους σχηματισμούς. Σε αυτούς απαντώνται πληθώρα υδροληπτικών έργων (πηγάδια, γεωτρήσεις).

Ηφαιστειακά πετρώματα

Πρόκειται στην ουσία για υδροστεγανούς σχηματισμούς, καθώς λιθολογικά αποτελούνται από βασαλτικές λάβες με πυροκλαστικά υλικά, ενώ παρατηρείται σε μικρή έκταση δευτερογενές πορώδες που δικαιολογεί μικρή υδροφορία.

4.2 Αγροτική δραστηριότητα στην περιοχή

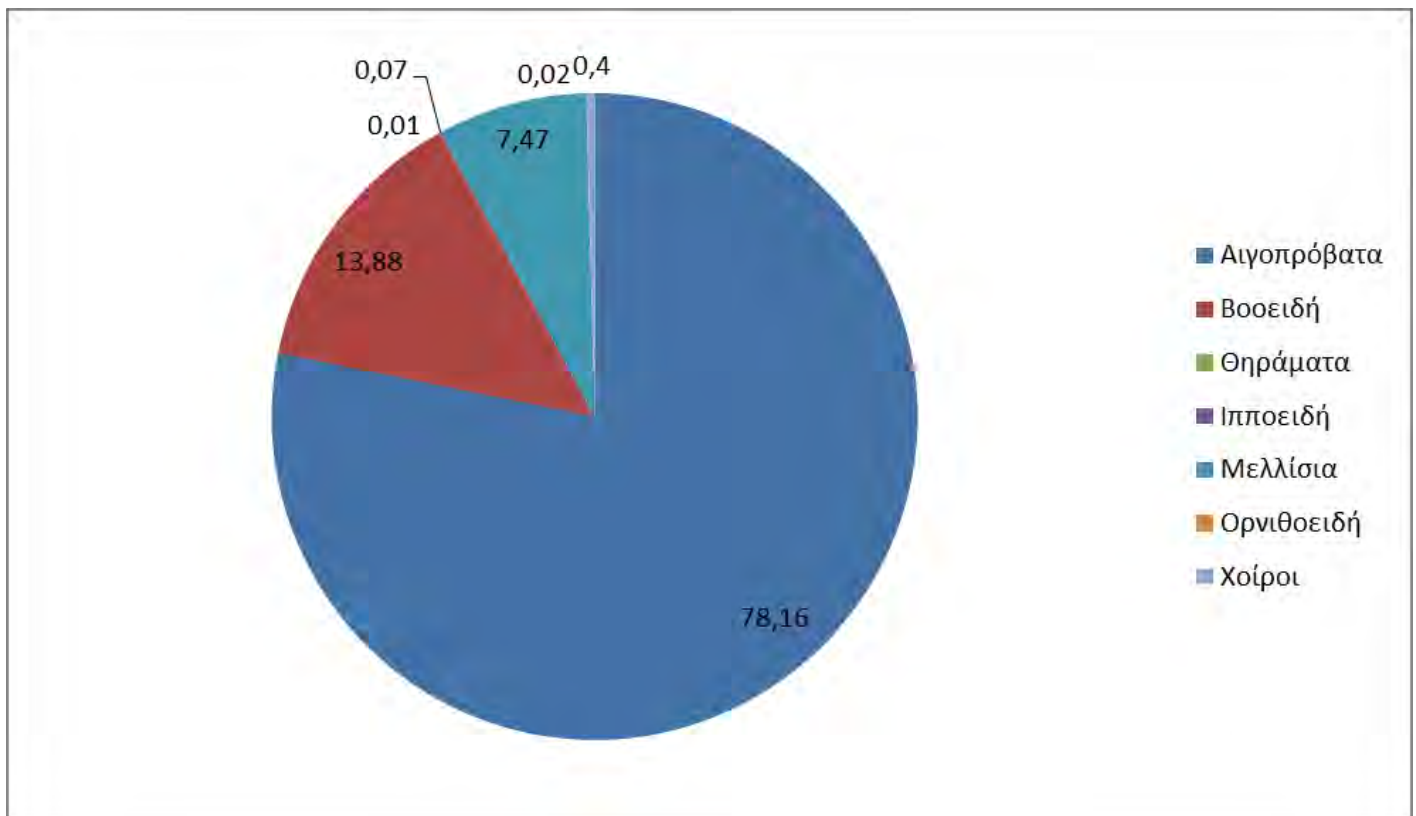
Ο Αλμυρός είναι μια περιοχή με έντονη αγροτική δραστηριότητα. Παρακάτω παρατίθεται σχήμα για την κατανομή των καλλιεργειών για το έτος 2015.



Εικόνα 15: Ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών για το έτος 2015 (Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ)

4.3 Κτηνοτροφία στη περιοχή

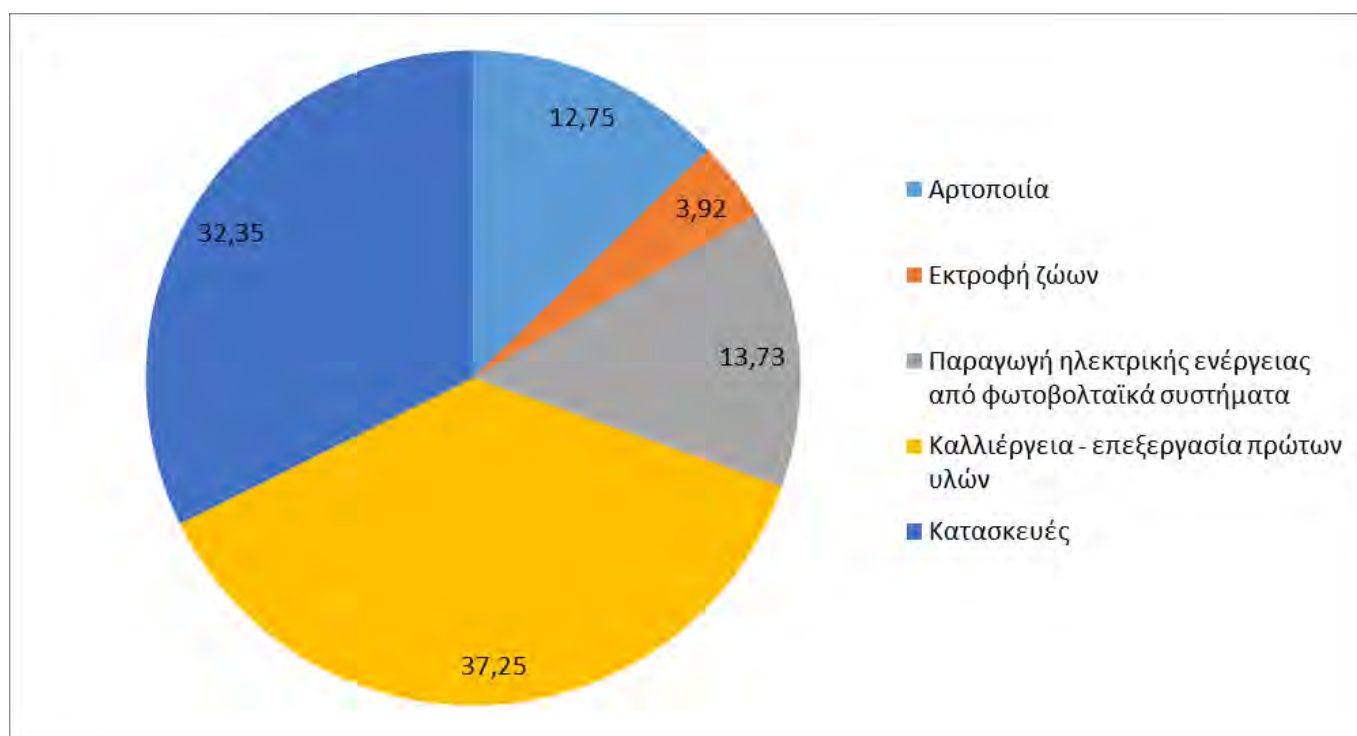
Σύμφωνα με στοιχεία που συλλέχτηκαν από τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε) η κτηνοτροφία της περιοχής κατά το έτος 2016 φαίνεται στο παρακάτω γράφημα :



Εικόνα 16: Ποσοστά κτηνοτροφικής δραστηριότητας κατά το έτος 2016 (Πηγη: ΟΠΕΚΕΠΕ)

4.4 Βιομηχανική και εμπορική δραστηριότητα

Στη περιοχή, σύμφωνα με στοιχεία από το εμπορικό επιμελητήριο Μαγνησίας, συναντώνται κατά βάση μονάδες μεταποίησης



Εικόνα 17: Κατανομή επιχειρήσεων (Πηγή: Εμπορικό επιμελητήριο Μαγνησίας)

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η εμπορική δραστηριότητα της περιοχής. Πιο αναλυτικά:

Αρτοποιία : Περιλαμβάνει και φούρνους και επιχειρήσεις παραγωγής νωπών ειδών ζαχαροπλαστικής

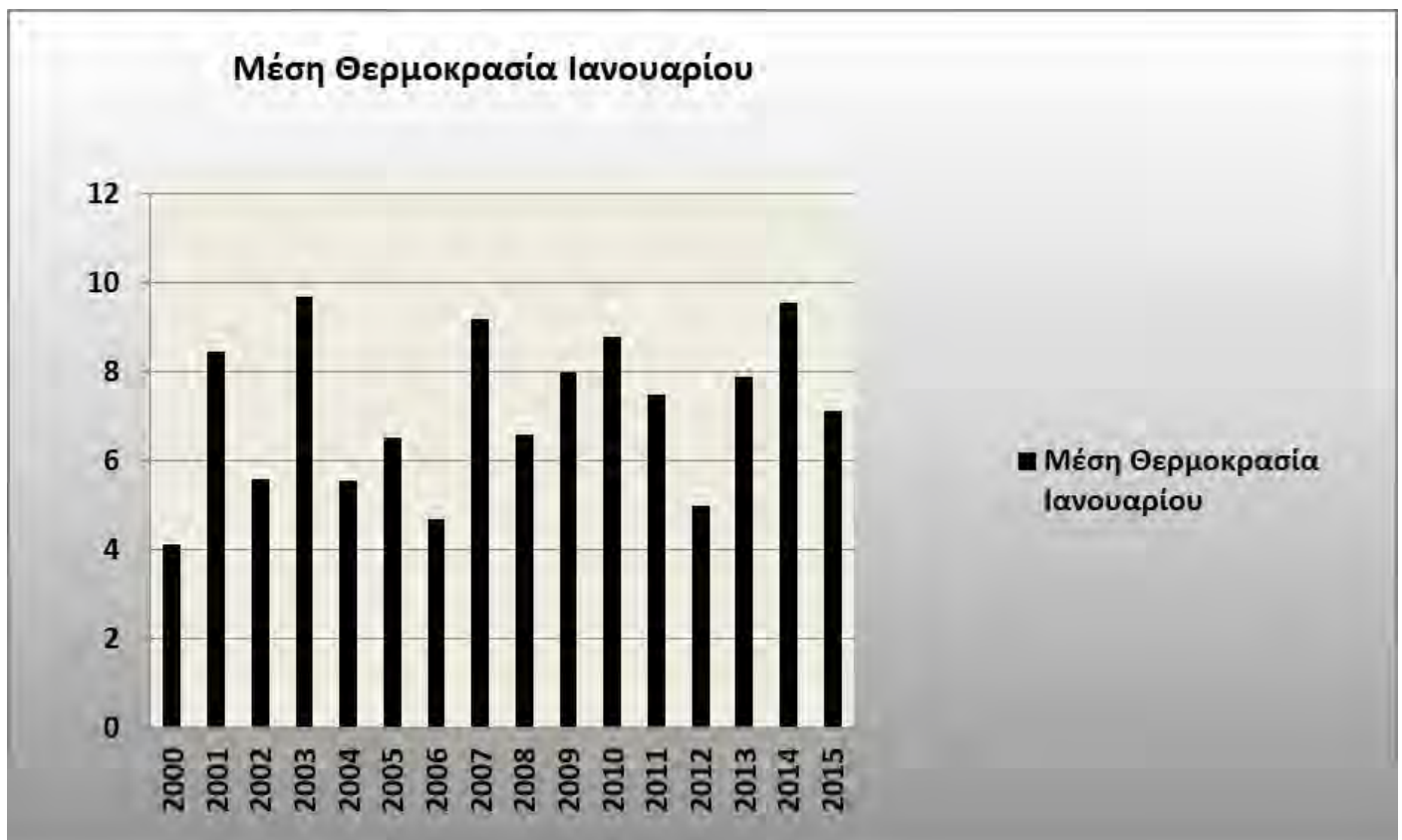
Κατασκευές : Περιλαμβάνει επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στη κατασκευή μιας σειράς προϊόντων όπως έπιπλα, μεταλλικά αντικείμενα, μεταλλικά κτίρια ακόμα και σκυροδέματος.

Καλλιέργεια : Περιλαμβάνει επιχειρήσεις που έχουν σχέση με πρώτες ύλες όπως σιτάρι, μέλι, επεξεργασία γαλακτοκομικών και άλλα.

4.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή μελέτης έχει τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος, δηλαδή υγρούς χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια.

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων στοιχείων στα παρακάτω χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ της Νέας Αγχιάλου. Παρακάτω, παρατίθενται ενδεικτικά τρία διαγράμματα ενδεικτικά του κλίματος την περιοχής. Στο πρώτο παρουσιάζονται οι μέσες θερμοκρασίες του Ιανουαρίου για τα έτη από 2000 έως 2015, ο Ιανουάριος είναι ο ψυχρότερος μήνας. Στο δεύτερο παρουσιάζονται αντίστοιχα δεδομένα για τον Ιούλιο, ο οποίος είναι ο θερμότερος. Στο τρίτο φαίνεται το άθροισμα της συνολικής βροχόπτωσης για τα έτη από το 2000 έως το 2015



Εικόνα 18: Μέση Θερμοκρασία Ιανουαρίου για τα έτη 2000-2015 (Πηγή : ΕΜΥ)



Εικόνα 19: Μέση θερμοκρασία Ιουλίου για τα έτη 2000-2015 (Πηγή: ΕΜΥ)



Εικόνα 20: Συνολική ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 2000-2015 (Πηγή: ΕΜΥ)

5. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης

Στις μέρες μας τα χωρικά συνεχή δεδομένα παίζουν σπουδαίο ρόλο στον σχεδιασμό, στην αξιολόγηση κινδύνου και στην λήψη αποφάσεων στον κλάδο της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Για να ληφθούν όμως αποφάσεις για την εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος απαιτούνται συνεχή χωρικά δεδομένα που να καλύπτουν όλο το εύρος της. Πολλές φορές είναι δύσκολο να έχουμε μετρήσεις σε όλο το εύρος της είτε επειδή η περιοχή έχει σημεία που λόγω τοποθεσίας δεν είναι εύκολο να λάβουμε μετρήσεις είτε για οικονομικούς λόγους. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό μας δίνει η χωρική παρεμβολή. Η χωρική παρεμβολή αποτελεί μια διαδικασία εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού, σε σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα, με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος. Η χωρική παρεμβολή στηρίζεται σε δύο υποθέσεις. Πρώτον, η επιφάνεια που εκφράζει το υπό εξέταση χαρακτηριστικό είναι συνεχής και επομένως, η τιμή σε κάθε θέση μπορεί να υπολογιστεί αν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για την επιφάνεια αυτή. Η δεύτερη υπόθεση αναφέρεται στην χωρική εξάρτηση των τιμών του υπό εξέταση χαρακτηριστικού, οι οποίες πρέπει να είναι ανεξάρτητες της απόλυτης θέσης τους στο χώρο (στάσιμη και ισοτροπική κατανομή) (Κουτσόπουλος 2002).

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής μπορούν να καταταχθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Μέθοδοι τοπικών εκτιμήσεων (local estimation) ,
- Μέθοδοι γενικευμένων προσεγγίσεων (global approximation) και
- Γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής συσχέτισης (kriging) .

Οι δύο πρώτες μέθοδοι απαιτούν τη γνώση στοιχειωδών στατιστικών στοιχείων. Η τρίτη απαιτεί μια καλή αντίληψη της έννοιας χωρικής συσχέτισης και αυτός είναι ο λόγος που εξετάζεται ως διαφορετική κατηγορία.

5.1 Μέθοδοι τοπικών εκτιμήσεων

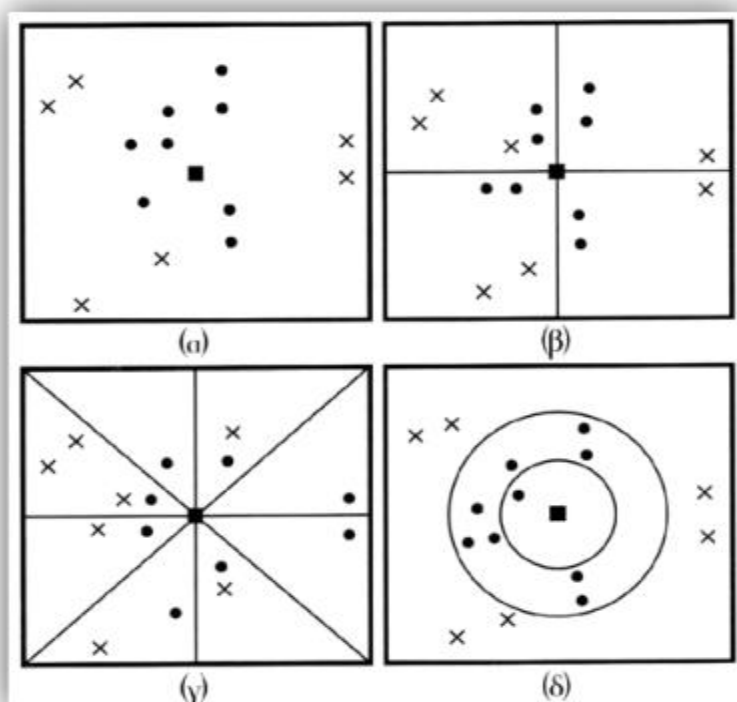
Οι μέθοδοι αυτοί αναφέρονται στην εκτίμηση της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε μια συγκεκριμένη θέση, με βάση στοιχεία που προέρχονται από σημεία που βρίσκονται στην άμεση γειτονική περιοχή του. Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι η εκτίμηση βασίζεται σε πληροφορίες που αφορούν περιοχές κοντά στο υπό εκτίμηση σημείο. Όμως η μέθοδος αυτή έχει και ένα βασικό μειονέκτημα που είναι η διαδικασία καθορισμού της γειτονικής περιοχής εκτίμησης που θεωρείται ως «γειτονιά». Η διαδικασία αυτή απαιτεί τα εξής βήματα:

- Τον ορισμό της περιοχής εκτίμησης ή την αποδεκτή «γειτονιά» γύρω από το υπό εκτίμηση σημείο.
- Την εύρεση αριθμού των σημείων που οι τιμές τους θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση.
- Την επιλογή σημείων αυτών από το σύνολο των σημείων της περιοχής μελέτης
- Την επιλογή της μαθηματικής συνάρτησης που αντιπροσωπεύει την διαφοροποίηση της τιμής του χαρακτηριστικού, δηλαδή την διαδικασία εκτίμησης.

Η απάντηση στα δυο πρώτα ερωτήματα γίνεται ταυτόχρονα, αφού ο αριθμός των σημείων καθορίζει και την περιοχή εκτίμησης. Όμως, η διαδικασία αυτή από τη φύση της είναι αυθαίρετη και υποκειμενική και, επομένως, απαιτεί καλή γνώση τόσο της περιοχής μελέτης όσο και των υπαρχόντων στοιχείων. Γενικά, αν τα στοιχεία είναι άφθονα (υπάρχουν πολλά σημεία σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης) ή η κατανομή της τιμής είναι σχετικά ομοιογενής (π.χ. επίπεδη επιφάνεια), τότε δεν υπάρχει ανάγκη να επιλεγεί ένας μεγάλος αριθμός σημείων για την εκτίμηση. Αντίθετα, αν η πυκνότητα των υπαρχόντων σημείων που εκπροσωπούν και τα στοιχεία είναι μικρή, τότε ο αριθμός των σημείων που πρέπει να επιλεγεί είναι σαφώς μεγαλύτερος. Όταν καθοριστεί ο αριθμός των σημείων, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή τους. Η

επιλογή αυτή μπορεί να πάρει πολλές μορφές που όλες έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τέσσερις τέτοιες διαδικασίες για την επιλογή, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οκτώ σημείων από το σύνολο της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 21: Διαδικασίες επιλογής σημείων στις μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων (Κουτσόπουλος 2008)

Στην πρώτη περίπτωση η επιλογή γίνεται με βάση την απόσταση. Δηλαδή, επιλέγονται τα σημεία που είναι πλησιέστερα στο υπό εκτίμηση σημείο. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι, αν τα πλησιέστερα σημεία βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση από το σημείο ενδιαφέροντος, η εκτίμηση σίγουρα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική. Στη δεύτερη περίπτωση η περιοχή μελέτης διαιρείται σε τέσσερα τεταρτημόρια με κέντρο το σημείο ενδιαφέροντος. Από κάθε τεταρτημόριο επιλέγεται ένας ίσος αριθμός σημείων (στην συγκεκριμένη περίπτωση δύο) και τα οποία είναι τα πλησιέστερα προς το σημείο ενδιαφέροντος. Με τον τρόπο αυτό, τα σημεία που επιλέγονται προέρχονται από κάθε κατεύθυνση στην περιοχή μελέτης. Βέβαια, με την προσέγγιση αυτή υπάρχει περίπτωση απομακρυσμένα σημεία να επιλεγούν

έναντι άλλων που βρίσκονται πλησιέστερα στο σημείο ενδιαφέροντος. Για να ξεπεραστεί το εμπόδιο αυτό, μια τρίτη προσέγγιση είναι αυτή του διαχωρισμού της περιοχής σε οκτώ τομείς (και γενικότερα σε τόσους τομείς όσα και τα προς επιλογή σημεία) και επιλογή του πλησιέστερου σημείου σε κάθε τομέα. Είναι αυτονόητο ότι η προσέγγιση αυτή δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Βέβαια, στην περίπτωση που το υπό εκτίμηση σημείο βρίσκεται στα άκρα της περιοχής μελέτης είναι συνήθως δύσκολο να επιλεγούν τα αναγκαία σημεία. Μια τελευταία προσέγγιση, όπου η επιλογή των σημείων γίνεται με τη δημιουργία μιας κυκλικής επιφάνειας της οποίας η ακτίνα επιλέγεται, ώστε να περιέχει τουλάχιστον τόσα σημεία όσα είναι αναγκαία.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής των σημείων, η διαδικασία της χωρικής παρεμβολής εισέρχεται στο βασικό της στάδιο, δηλαδή την εκτίμηση της τιμής του χαρακτηριστικού εκεί που μας ενδιαφέρει. Η τιμή της εκτίμησης διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη μέθοδο εκτίμησης που χρησιμοποιείται. Μερικές από τις κυριότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων των πακέτων λογισμικού είναι :

- Παρεμβολή με απόδοση βαρών σε σημειακά δεδομένα – Inverse Distance Weighting , IDW
- Τοπικές πολυωνυμικές συναρτήσεις (Splines)ή συναρτήσεις αξονικής βάσης (Radial Basis Function)
- Ψηφιοποίηση σε TIN (Triangulated Irregular Network)
- Nearest Neighbours
- Topo To Raster

5.1.1 Inverse Distance Weighting (IDW)

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος του πλεισιέστερου γείτονα ή μέθοδος κινητού μέσου όρου των παρατηρήσεων με βάρη (Spatial Moving Average) και αποτελεί μία συνήθη προσέγγιση χωρικής παρεμβολής στην οποία αποδίδεται βάρος στα γειτονικά σημεία του δείγματος των μετρήσεων. Τα

επιλεγμένα σημεία του δείγματος θα είναι τα πλησιέστερα η σημεία ή όλα τα σημεία μέσα σε μία δεδομένη ακτίνα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του n τόσο μεγαλύτερο θα είναι το αποτέλεσμα εξομάλυνσης του μέσου όρου. Η εξομάλυνση μπορεί να εξισορροπηθεί με τη χρήση ενός μέσου όρου με βάρη, κατά την οποία το βάρος που αποδίδεται σε σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασής του από το σημείο παρεμβολής. Η αντίστροφη αναλογία μπορεί να είναι γραμμική ή εκθετική (δύναμη του δύο) ώστε να παρέχει μία αντίστροφη τετραγωνική σχέση. Ουσιαστικά η μέθοδος IDW ακολουθεί το συμπέρασμα ότι κάθε εκτιμώμενο σημείο παρεμβολής έχει μία τοπική επιρροή που μικραίνει με την αύξηση της απόστασης από τα μετρημένα σημεία του δείγματος. Γενικά η μέθοδος IDW θεωρείται μία παλαιά τεχνική με ένα σημαντικό μειονέκτημα ότι δεν εκτιμάει τιμές εκτός των ορίων του σημειακού δείγματος. Με άλλα λόγια οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της παραγόμενης επιφάνειας που προκύπτει με την εφαρμογή της IDW είναι ίδιες με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του αρχικού σημειακού δείγματος της εκτιμώμενης μεταβλητής.

5.1.2 Radial Basis Functions

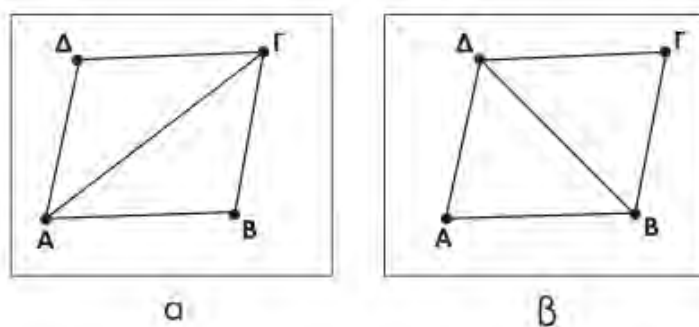
Οι μέθοδοι τύπου Radial Basis Function (RBF) διαφέρουν από τις τοπικές και γενικευμένες τεχνικές παρεμβολής γιατί η επιφάνεια παρεμβολής που παράγεται περνάει ακριβώς ανάμεσα από τα σημεία της δειγματοληψίας. Σε σχέση με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα ή του κινητού μέσου (IDW), οι τεχνικές RBF έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν τιμές μεγαλύτερες από τη μέγιστη τιμή μεταβλητής και μικρότερες από την ελάχιστη τιμή μεταβλητής δειγματοληψίας. Επιπροσθέτως οι τεχνικές RBF χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό, με σκοπό την δημιουργία μιας εξομαλυμένης ή τουλάχιστον καλά ελεγχόμενης αναπαράστασης επιφανειών. Κυρίως αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα παράγονται για τις ήπια μεταβαλλόμενες επιφάνειες όπως η πιεζομετρική επιφάνεια ενός υδροφόρου, όμως οι τεχνικές RBF θεωρούνται ακατάλληλες όταν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στις τιμές της επιφάνειας μέσα σε μια σύντομη οριζόντια απόσταση ή/και όταν η μεταβλητή της δειγματοληψίας είναι επιρρεπής σε λάθος ή σε αβεβαιότητα. Υπάρχουν πέντε διαφορετικές παραλλαγές:

- Thin plate spline
- Spline with tension
- Completely regularized spline
- Multiquadric function
- Inverse multiquadric function

Κάθε μία παραλλαγή οδηγεί σε μια ελαφρώς διαφορετική επιφάνεια παρεμβολής. Σε όλες τις παραλλαγές υπάρχει μία παράμετρος που ρυθμίζει την εξομάλυνση των επιφανειών παρεμβολής στις οποίες όσο αυξάνεται η παράμετρος αυτή η επιφάνεια παρεμβολής γίνεται πιο ομαλή, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατ' εξαίρεση στην πέμπτη παραλλαγή.

5.1.3 Triangulated Irregular Network

Στην ψηφιοποίηση σε TIN όλα τα σημεία ενώνονται μεταξύ τους μετατρέπόμενα σε ένα σύνολο πλευρών τριγώνων (δημιουργία του πλέγματος των τριγώνων) και έτσι καθορίζεται η συνάρτηση της χωρικής διαφοροποίησης των τιμών (δηλαδή η τιμή του χαρακτηριστικού μεταξύ δύο κορυφών μιας πλευράς μεταβάλλεται με έναν καθορισμένο και σταθερό τρόπο). Η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το κριτήριο σύνδεσης των σημείων. Ο πιο γνωστός τρόπος σύνδεσης είναι η μέθοδος Delaunay γνωστή και ως κριτήριο μέγιστη-ελάχιστη γωνία.



Εικόνα 22: Απεικόνιση της μεθόδου TIN

5.1.4 Nearest Neighbors

Επιλέγοντας να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη μέθοδο για να υπολογίσουμε την τιμή ενός χαρακτηριστικού σε σημείο που δεν υπάρχουν μετρήσεις βασιζόμαστε σε κοντινά σημεία του δείγματος. Μεταξύ αυτών των σημείων χαράζονται μεσοκάθετοι με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολύγωνα που στο κέντρο του κάθε πολυγώνου υπάρχουν τα γνωστά σημεία δειγματοληψίας. Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι ότι όλα τα σημεία εντός κάθε πολυγώνου θα έχουν την ίδια τιμή.

5.1.5 Topo to Raster (ANUDEM)

Η μέθοδος Topo to raster είναι μια μέθοδος χωρικής παρεμβολής ειδικά σχεδιασμένη για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) υδρολογικού χαρακτήρα και είναι βασισμένη στο πρόγραμμα ANUDEM (Australian National University DEM) που επινοήθηκε από τον Michael Hutchinson. Είναι μια επαναληπτική διαδικασία η οποία δείχνει να υπερτερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες καθώς συνδυάζει την υπολογιστική εγκυρότητα της IDW και την διατήρηση της συνέχειας της επιφάνειας όπως πραγματοποιούν οι μέθοδοι Kriging και Spline.

5.2 Γενικευμένες μέθοδοι

Οι γενικευμένοι μέθοδοι εκτίμησης, σε αντίθεση με τις τοπικές μεθόδους, χρησιμοποιούν όλα τα υπάρχοντα στοιχεία από ολόκληρη την περιοχή μελέτης επιτυγχάνοντας εκτιμήσεις για το σύνολο της περιοχής που ενδιαφέρει. Οι γενικευμένοι εκτιμητές χρησιμοποιούνται συνήθως εμμέσως για χωρικές παρεμβολές, κι αυτό γιατί αποτελούν εργαλεία κυρίως εξέτασης και πιθανόν απομάκρυνσης των γενικευμένων για ολόκληρη τη περιοχή χωρικών διαφοροποιήσεων που δημιουργούνται από διάφορες περιφερειακές τάσεις ή από διαφορετικές κατηγορίες φαινομένων, τα οποία χαρακτηρίζουν περιοχές με διαφορετικές μέσες τιμές. Δυο γνωστές γενικευμένες μέθοδοι είναι:

- Επιφάνεια Τάσης (Trend Surface)
- Μοντέλα Ταξινόμησης

5.2.1 Επιφάνεια τάσης (Trend Surface)

Όταν η διαφοροποίηση σε ένα χαρακτηριστικό είναι συνεχής στο χώρο, υπάρχει ανάγκη για τη δημιουργία ενός μοντέλου, ώστε να μπορεί να εξηγηθεί αυτή η διαφοροποίηση και κυρίως να υπάρχει η δυνατότητα για την εκτίμηση της τιμής του χαρακτηριστικού σε θέσεις, εκτός αυτών για τις οποίες υπάρχουν στοιχεία. Μια τέτοια μέθοδος είναι γνωστή με το όνομα ανάλυση επιφάνειας τάσης (trend surface analysis).

Η μέθοδος αυτή προσαρμόζοντας στα υπάρχοντα δεδομένα μια επιφάνεια παλινδρόμησης, επιτυγχάνει το διαχωρισμό των παρατηρήσεων μιας χωρικά κατανομημένης μεταβλητής, σε ένα τμήμα που σχετίζεται με τις γενικευμένες (Global) τάσεις που υπάρχουν στα στοιχεία, και ένα τμήμα που είναι το αποτέλεσμα των τοπικών επιδράσεων. Συγκεκριμένα, οι τιμές που εκτιμούνται από την επιφάνεια παλινδρόμησης, θεωρούνται ότι αποτελούν τις περιφερειακές επιπτώσεις, ενώ οι αποκλίσεις των παρατηρούμενων στοιχείων (τα υπόλοιπα) θεωρούνται ότι αποτελούν τις τοπικές επιπτώσεις. Βασικά, οι περιφερειακές επιδράσεις θεωρείται ότι δημιουργούν μια ομαλή και κανονική κατανομή, που οι διακυμάνσεις της είναι τόσο «βαθείς» και «πλατιές» και κυρίως τόσο μεγάλες, που να μην μπορούν να εξηγηθούν από τοπικά αίτια ή επιδράσεις.

Στις τελευταίες επιδράσεις αντιστοιχούν τα υπόλοιπα, δηλαδή οι αποκλίσεις της επιφάνειας αυτής, που ονομάζεται επιφάνεια τάσης, από τις παρατηρήσεις. Δεδομένου, ότι διαφοροποιήσεις με μορφή μιας χωρικής σειράς αντιστοιχούν σε χωρικές διαφοροποιήσεις στην ένταση και ισορροπία των παραγόντων που επιδρούν σε αυτές, οι επιφάνειες τάσης μπορούν να θεωρηθούν σαν εργαλεία ανάλυσης, που μπορούν να εξηγήσουν χωρικές αιτίες ή διαδικασίες. Συγκεκριμένα, η ανάλυση επιφάνειας τάσης θεωρεί ότι κάθε τιμή $Z(s)$ ενός φαινομένου μπορεί να διαχωριστεί σε δυο μέρη, που το καθένα είναι αποτέλεσμα μιας ξεχωριστής, σε διαφορετική κλίμακα, χωρικής διαδικασίας. Το πρώτο τμήμα είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας μεγάλης κλίμακας, λειτουργεί δηλαδή σε μια μεγάλη περιοχή και δημιουργεί την επιφάνεια τάσης. Συγκεκριμένα, η επιφάνεια αυτή σχετίζεται με μεγάλης κλίμακας συστηματικές αλλαγές που εκτείνονται από το ένα άκρο του χάρτη

στο άλλο και αντιπροσωπεύει το τμήμα αυτό των στοιχείων που μεταβάλλεται ομαλά (Krumbein and Graybill, 1965). Με άλλα λόγια, αποτελεί μια συνάρτηση που έχει αναμενόμενη συμπεριφορά (Grant, 1961). Το δεύτερο τμήμα συνδυάζει τις τυχαίες μεταβολές και τα σφάλματα μέτρησης και είναι αποτέλεσμα μιας χωρικής διαδικασίας που επιδρά σε μια σημαντικά μικρότερη περιοχή από την περιοχή μελέτης. Η δεύτερη αυτή διαδικασία, που εκφράζεται με τα υπόλοιπα, είναι ένα υποτιθέμενο σφάλμα και αντιπροσωπεύει τους τοπικούς παράγοντες, που μπορούν να οριστούν σαν τις μη συστηματικές μεταβολές, που προστίθενται στα μεγάλης κλίμακας πρότυπα (Krumbein and Graybill, 1965). Δεδομένης της φιλοσοφίας της, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της πιεζομετρικής επιφάνειας.

5.2.2 Μοντέλα ταξινόμησης

Σε αυτή τη μέθοδο οι τάσεις θεωρούνται ότι είναι το αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός υποβάθρου αποτελούμενου από μια ομάδα περιοχών οι οποίες διακρίνονται μεταξύ τους από τις μέσες τιμές του υπό εξέταση χαρακτηριστικού. Υποθέτει ότι η παρατηρούμενη δομή μιας συγκεκριμένης χωρικής διαφοροποίησης καθορίζεται από εξωγενώς καθοριζόμενες χωρικές ενότητες. Θεωρείται ότι εντός κάθε χωρικής ενότητας η διασπορά των τιμών είναι μικρότερη από τη διασπορά των τιμών μεταξύ των ενοτήτων. Άρα σημαντικές αλλαγές στις τιμές της παρατηρούμενης μεταβλητής παρατηρούνται στα όρια μεταξύ των χωρικών μονάδων. Το στατιστικό μοντέλο ταξινόμησης έχει ως εξής :

$$Z(s) = \mu + v \kappa + \varepsilon$$

όπου:

$Z(s)$ = η τιμή του χαρακτηριστικού στη θέση s .

μ = η συνολική, για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, μέση τιμή.

$v \kappa$ = η απόκλιση από τη μ , της μέσης τιμής κάθε χωρικής

μονάδας κ , και

ε = το υπόλοιπο, σφάλμα, που είναι γνωστό και ως «θόρυβος».

Το μοντέλο θεωρεί ότι για κάθε ομάδα κ , οι τιμές του χαρακτηριστικού έχουν κανονική κατανομή

που η μέση τιμή της είναι ίση με $\mu + \nu \kappa$

Ο δείκτης που έχει σημασία είναι η σχετική διασπορά

$\sigma_\varepsilon^2 / \sigma_\sigma^2$ όπου

- σ_σ^2 η συνολική διασπορά που είναι ίση με $\sigma_\varepsilon^2 + \sigma_\mu^2$
- σ_μ^2 η διασπορά μεταξύ κατηγοριών, που είναι ίδια για όλες τις κατηγορίες

5.3 Γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής συσχέτισης (Kriging)

Οι μέθοδοι αυτοί πήραν το όνομα αυτό από τον Danie G. Krige έναν Νοτιοαφρικάνο Μηχανικό Μεταλλείων. Ο Krige υπήρξε πρωτοπόρος στον τομέα της γεωστατιστικής και ανέπτυξε μια σειρά από εμπειρικές τεχνικές για την εκτίμηση κοιτασμάτων χρυσού στη Νοτιο Αφρική. Η δουλειά του Krige τυποποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 από τον Γάλλο μηχανικό Georges Matheron καθηγητή στην Ecole Normale Supérieure des Mines de Paris (School of Mines) , ο οποίος ονόμασε τη μέθοδο Kriging προς τιμήν του Krige.

Το kriging είναι μία μέθοδος για τη βελτιστοποίηση της εκτίμησης ενός μεγέθους το οποίο κατανέμεται στο χώρο και το οποίο μετράται σε ένα πλέγμα σημείων. Έστω X_1, X_2, \dots, X_n οι τοποθεσίες των n σημείων των μετρήσεων όπου το X_i δηλώνει τις συντεταγμένες στο χώρο και Z η τιμή που μετρήθηκε το σημείο i .

Το πρόβλημα της εκτίμησης των σημείων έγκειται στον καθορισμό της τιμής της ποσότητας Z_0 για κάθε σημείο X_0 στο οποίο δεν έχει γίνει μέτρηση.

Μεταβάλλοντας συνεχώς την θέση του σημείου X_0 είναι δυνατόν να εκτιμηθεί όλο το πεδίο του Z .

Το kriging δεν περιορίζεται σε απλή εκτίμηση της τιμής ενός μεγέθους Z απλώς σε σημεία, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για :

- Υπολογισμό της διασποράς του μεγέθους Z , π.χ. ένδειξη του διαστήματος εμπιστοσύνης της εκτίμησης
- Εκτίμηση της μέσης τιμής του Z σε ένα δεδομένο μπλοκ ,π.χ. στο πλέγμα ενός μοντέλου ή σε ένα υποχωρίο οποιουδήποτε σχήματος ενός ταμιευτήρα νερού.
- Επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για ένα νέο σημείο μέτρησης, ελαχιστοποιώντας τη συνολική αβεβαιότητα στο υπό εξέταση πεδίο.

Το kriging προσφέρει από στατιστικής άποψης μερικές βέλτιστες ιδιότητες όπως η αποφυγή της μεροληπτικής εκτιμήσεως στην περίπτωση συσσωρεύσεως σημείων με μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις, και η εκτίμηση σε κάθε σημείο, του μέτρου του σφάλματος ή της αβεβαιότητας για την επιφάνεια που υπολογίστηκε.

5.3.1 Ημιβαριόγραμμα ή Βαριογράμμα (Semivariogram)

Σε ένα πεδίο μεταβολής ενός φυσικού μεγέθους συνήθως δε γνωρίζουμε την τιμή της μεταβλητής που εκφράζει αυτό το φυσικό μέγεθος παρά σε λίγα σημεία. Επίσης πέρα από τις τιμές και τις επιφάνειες χωρικής τάσεως δεν μπορούμε να εκφράσουμε με άλλο τρόπο τις τιμές που θα πάρει η μεταβλητή σε κάθε σημείο του πεδίου. Όμως μπορούμε να εκφράσουμε τον ρυθμό μεταβολής της μεταβλητής κατά μια ορισμένη κατεύθυνση, ή και αδιάφορα από την κατεύθυνση αν το πεδίο είναι ισότροπο. Η έκφραση αυτής της ιδιότητας μιας χωρικής μεταβλητής γίνεται από την ημιδιακύμανση, η οποία αποδίδει το βαθμό της χωρικής εξαρτήσεως των τιμών της μεταβλητής που απέχουν μεταξύ τους απόσταση h . Δηλαδή δεχόμαστε ότι η μεταβολή της μεταβλητής από σημείο σε σημείο στο χώρο εξαρτάται από την μεταξύ τους

Διπλωματική Εργασία

απόσταση. Αυτό είναι μια εσωτερική υπόθεση που δεχόμαστε για το πεδίο και ισχύει σε πολλές περιπτώσεις.

Εάν η διακύμανση υπολογισθεί για διάφορες αποστάσεις h , συνήθως πολλαπλάσιες κάποιου βήματος στο χώρο, μπορεί να χαραχθεί ένα διάγραμμα που καλείται ημιμεταβλητόγραμμα ή βαριογράμμα (Semivariogram) .

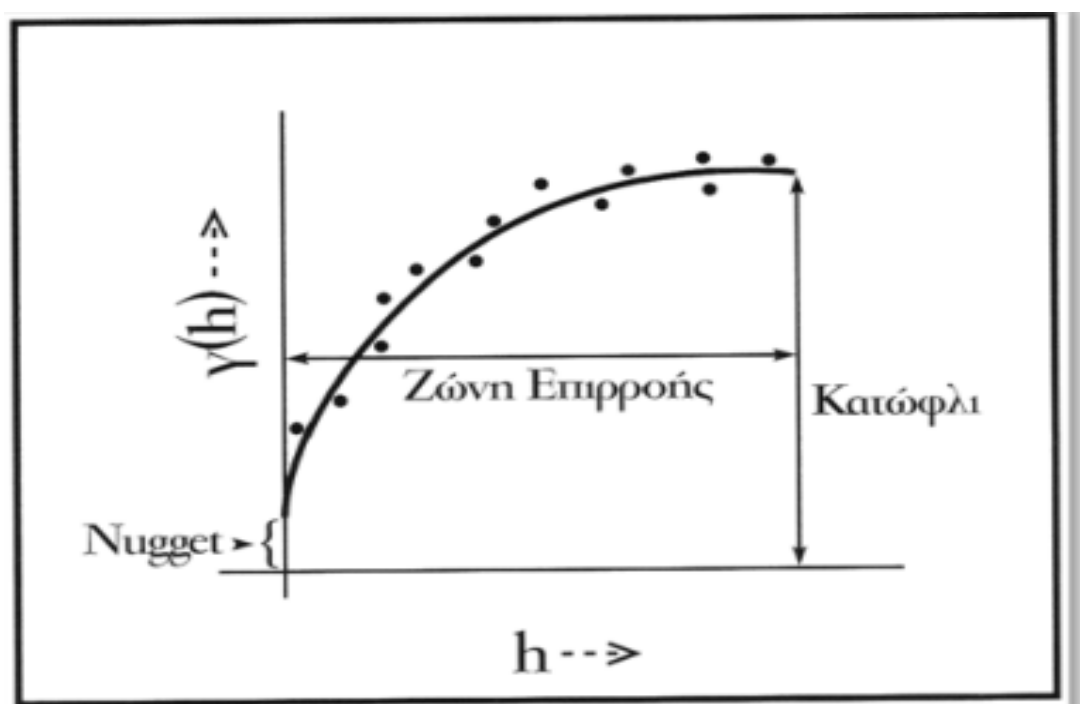
Οι τιμές της συνάρτησης $\gamma(h)$ που καθορίζουν τις τιμές του βαριογράμματος μπορούν να εκτιμηθούν από τα στοιχεία ενός δείγματος ως εξής :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2nh} \sum_{s_i-s_j}^n (Z(s_i)-Z(s_i+h))^2$$

Όπου $\sum_{s_i-s_j}^n$ το άθροισμα για όλα τα ζευγάρια των παρατηρούμενων σημείων που απέχουν μεταξύ τους διάστημα h

$N(h)$: ο αριθμός των προαναφερθέντων ζευγαριών

Καθώς το h μεταβάλλεται παράγεται μια σειρά από εκτιμώμενες τιμές, δημιουργώντας το δειγματικό ή πειραματικό βαριόγραμμα. Βέβαια, στην πραγματικότητα, όταν τα σημεία του δείγματος στην περιοχή μελέτης έχουν ακανόνιστη κατανομή, σπάνια θα υπάρχουν αρκετές παρατηρήσεις που η διανυσματική απόσταση μεταξύ τους θα είναι ακριβώς h , με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μια σειρά από διαστήματα και η εκτίμηση να γίνεται με βάση τις αποστάσεις που βρίσκονται μέσα στα όρια αυτών των διαστημάτων, δηλαδή να είναι κοντά στο h . Στην περίπτωση αυτή καθορίζονται όρια ανοχής για την απόσταση ή/και την κατεύθυνση.



Εικόνα 23: Διαγραμματική απεικόνιση δειγματικού ή πειραματικού βαριογράμματος

Για να γίνει κατανοητό το παραπάνω γράφημα κρίνεται σκόπιμο να αναλυθούν οι παρακάτω έννοιες:

- Κατώφλι(sill): Ονομάζεται το ανώτερο όριο στο οποίο φθάνει η συνάρτηση καθώς κινείται ασυμπτωτικά με την αύξηση της απόστασης h . Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλες αποστάσεις δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση μεταξύ των σημείων, αφού οι εκτιμήσεις της διαφοράς παραμένουν σταθερές καθώς η απόσταση των σημείων διαφοροποιείται.
- Ζώνη επιρροής (range): Καλείται η απόσταση όπου το μοντέλο εξωμαλύνεται για πρώτη φορά. Τα σημεία του δείγματος που χωρίζονται με αποστάσεις μικρότερες από τη ζώνη επιρροής παρουσιάζουν χωρική αυτοσυσχέτιση, ενώ το αντίθετο δεν ισχύει.
- Nugget: θεωρητικά σε απόσταση μηδενικής διαφοροποίησης η τιμή του βαριογράμματος πρέπει να είναι μηδέν και η καμπύλη να περνά από την αρχή των αξόνων. Όμως σε αυτή τη περίπτωση το βαριόγραμμα παρουσιάζει θετική τιμή τέμνοντας τον άξονα των y . Το αποτέλεσμα

Διπλωματική Εργασία

αυτό αποδίδεται σε σφάλματα μέτρησης και μικρής κλίμακας μεταβλητότητα ή και τα δύο. Βέβαια στη περίπτωση που το βαριόγραμμα παρουσιάζει τις επιπτώσεις nugget , δηλαδή έχει τη μορφή οριζόντιας γραμμής η υπο εξέταση διαδικασία δεν έχει χωρικές εξαρτήσεις. Σε αυτή τη περίπτωση η καλύτερη εκτίμηση της μεταβλητής είναι η συνολική μέση τιμή, υπολογιζόμενη από όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη καμία χωρική εξάρτηση (Κουτσοπουλος,2002) .

Στη περίπτωση που στο βαριόγραμμα οι τιμές των διασπορών είναι ευρέως διασκορπισμένες η εκτίμηση της $\gamma(h)$ έγινε με τη χρήση μικρού δείγματος. Για την επίτευξη ενός σταθερού βαριογράμματος συνήθως απαιτούνται 50-100 σημεία αν και δεν αποτελεί και αυστηρή συνθήκη.

Τύποι Βαριογράμματος

Το πειραματικό βαριόγραμμα που προκύπτει από τα δεδομένα αρκετές φορές παρουσιάζει διακυμάνσεις που οφείλονται σε σφάλματα των μετρήσεων, για αυτό το λόγο γίνεται η προσαρμογή του σε κάποιο θεωρητικό πρότυπο βαριογράμματος που εκφράζεται από μια ή περισσότερες εξισώσεις. Το βαριόγραμμα γενικά είναι ιδιαίτερα κατατοπιστικό για το είδος της χωρικής διαφοροποίησης που υπάρχει στη περιοχή μελέτης και βοηθάει σημαντικά στη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής. Παρακάτω παραθέτονται τα βασικότερα μοντέλα βαριογράμματος:

- Σφαιρικό μοντέλο : Στη περίπτωση που οι επιπτώσεις nugget είναι σημαντικές αλλά όχι ιδιαίτερα μεγάλες και παρατηρείται ένα ξεκάθαρο κατώφλι και ζώνη επιρροής , μια καλή προσέγγιση είναι το σφαιρικό μοντέλο που δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma(h) = \begin{cases} \alpha + (\sigma^2 - \alpha) * (\frac{3h}{2r} - \frac{h^3}{2r^3}) & 0 \leq h \leq r \\ \sigma^2 & h > r \end{cases}$$

Όπου :

Διπλωματική Εργασία

- ✓ r : είναι η ζώνη επιρροής (range)
 - ✓ σ^2 : είναι το κατώφλι – διασπορά
 - ✓ h : είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων
 - ✓ α : είναι το τμήμα της διασποράς που αφορά το nugget
- Εκθετικό Μοντέλο: Όταν παρατηρείται μια βαθμιαία μετάβαση προς τη μέγιστη τιμή της ζώνης επιρροής, με σαφώς οριοθετημένο κατώφλι και nugget, η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι το εκθετικό μοντέλο είναι μια καλή επιλογή και δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma(h) = \begin{cases} \alpha + (\sigma^2 - \alpha) * \left(1 - e^{-\frac{3h}{r}}\right) & \text{για } h > 0 \\ 0 & \text{για } h = 0 \end{cases}$$

- Το Κανονικό ή Μοντέλο Gauss: Πολύ συχνά, όταν οι διαφοροποιήσεις είναι ομαλές (π.χ. στοιχεία για το υψόμετρο) και η διασπορά nugget (το ϵ) είναι πολύ μικρή, συγκρινόμενη με τη χωρική συσχετισμένη τυχαία διασπορά (την $U(\text{si})$), τότε, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το βαριόγραμμα ακολουθεί μια καμπύλη που εκφράζεται βέλτιστα από το Γκαουσικό μοντέλο, που δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma(h) = \begin{cases} \alpha + (\sigma^2 - \alpha) * \left(1 - e^{-\frac{3h^2}{r^2}}\right) & \text{για } h > 0 \\ 0 & \text{για } h = 0 \end{cases}$$

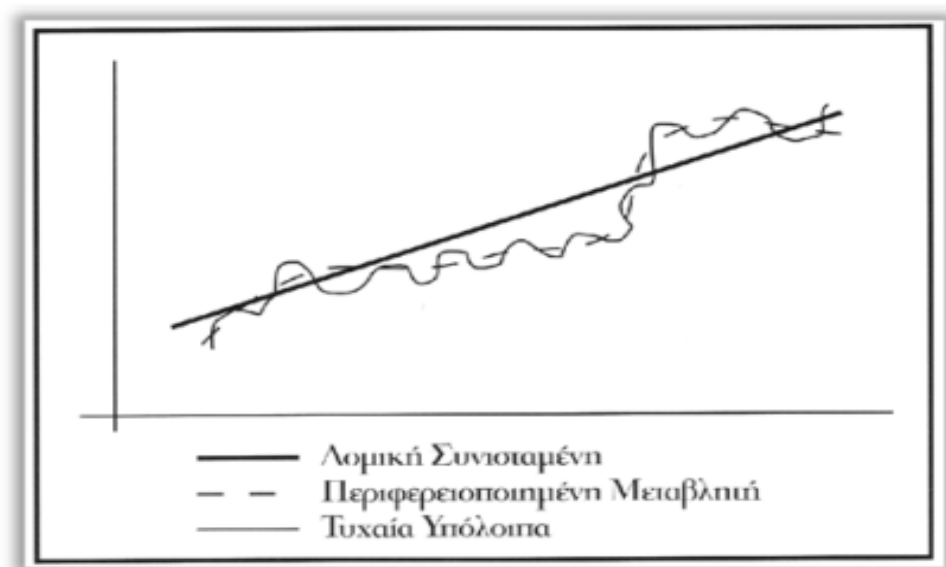
5.3.2 Θεωρία περιφεροποιημένων μεταβλητών

Η θεωρία περιφεροποιημένων μεταβλητών δείχνει που χρησιμεύει το βαριόγραμμα στη χωρική παρεμβολή. Η θεωρία αυτή υποθέτει ότι η χωρική διαφοροποίηση μιας οποιασδήποτε μεταβλητής μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των εξής τριών βασικών συνισταμένων:

- Τη δομική συνισταμένη, η οποία έχει μια σταθερή μέση τιμή ή τάση.

Διπλωματική Εργασία

- Μια τυχαία αλλά χωρικά συσχετισμένη συνισταμένη, γνωστή και ως περιφερειοποιημένη μεταβλητή.
- Ένα μη χωρικά συσχετισμένο τυχαίο σφάλμα.



Εικόνα 24: Απεικόνιση της χωρικής διαφοροποίησης μίας μεταβλητής

Η τιμή της μεταβλητής Z σε ένα σημείο S_i δίνεται από τη σχέση:

$$Z(s_i) = m(s_i) + U(s_i) + \varepsilon$$

Όπου :

- $M(s_i)$: είναι μία αιτιοκρατική συνάρτηση που περιγράφει τη δομική συνισταμένη της Z στο σημείο s_i
- $U(s_i)$: είναι ένας στοχαστικός όρος που εκφράζει τα υπόλοιπα από την $m(s_i)$ που μεταβάλλονται τοπικά, αλλά είναι χωρικά συσχετισμένα, δηλαδή την περιφερειοποιημένη μεταβλητή και
- ε : είναι τα χωρικά ανεξάρτητα σφάλματα που ακολουθούν μια κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν

Υποθέτοντας ότι η παραπάνω εξίσωση εκφράζει μια ενδογενή στάσιμη χωρική διαδικασία εφόσον οι δομικές επιπτώσεις μπορούν να εξηγηθούν (π.χ. η μέση τιμή στην περιοχή μελέτης) , η εναπομείνασα διασπορά είναι ομοιογενής ως προς τη διαφοροποίηση της, έτσι ώστε οι διαφορές μεταξύ σημείων του δείγματος είναι απλά μια συνάρτηση της απόστασης μεταξύ

τους. Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της μεταβλητής Z από την εξίσωση:

$$z(s_i) = m(s_i) * \gamma(h) + \varepsilon$$

Όπου $\gamma(h)$ η συνάρτηση βαριογράμματος που αναφέραμε.

5.3.3 Είδη μεθόδων Kriging

Με την πάροδο των ετών έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της μεθόδου Kriging. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Ordinary (κανονικό) Kriging
- Simple(απλό) Kriging
- Universal (καθολικό) Kriging
- Indicator (ενδεικτικό) Kriging

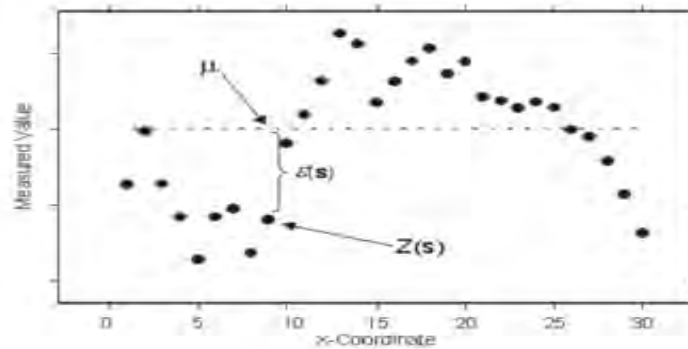
Οι οποίες θα παρουσιαστούν συνοπτικά στη συνέχεια. Υπάρχουν περιπτώσεις που είναι δυνατόν να υπάρχουν δύο ή και περισσότερες μεταβλητές οι οποίες συσχετίζονται μεταξύ τους. Τότε οι μεταβλητές αυτές μπορούν να εκτιμηθούν μαζί με τη μέθοδο του Co-Kriging που είναι μια σύνθετη παραλλαγή της μεθόδου Kriging ιδιαίτερα χρήσιμη στην υδρολογία.

5.3.3.1 Ordinary Kriging

Η μέθοδος βασίζεται στο ημιβαριόγραμμα για πρόβλεψη της τιμής μιας μεταβλητής σε κάποιο σημείο χωρίς να είναι γνωστή η μέση τιμή των δειγμάτων. Η μέση τιμή θεωρείται σταθερή μέσα στη περιοχή εκτίμησης. Ακόμη προϋποθέτει ότι το δείγμα ακολουθεί κανονική κατανομή ενώ λόγω συνθήκες αμεροληψίας το άθροισμα των σταθμικών συντελεστών (βάρη) που υπεισέρχονται στην εξίσωση παρεμβολής είναι ίσο με τη μονάδα.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i] = 0 \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + [\sum_{i=1}^n \lambda_i] \mu = z(x_0)$$

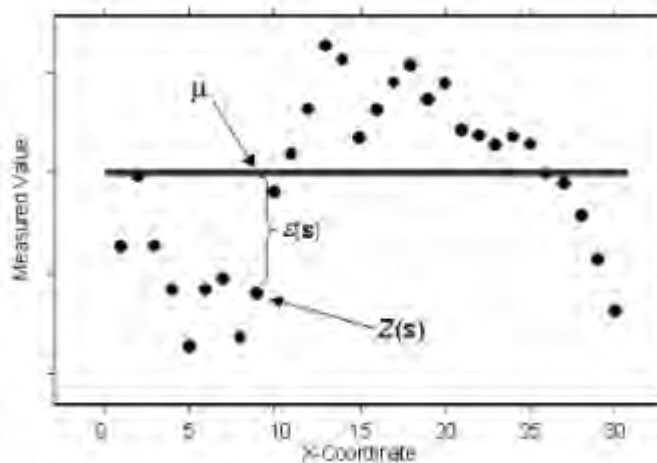
$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$



5.3.3.2 Simple Kriging

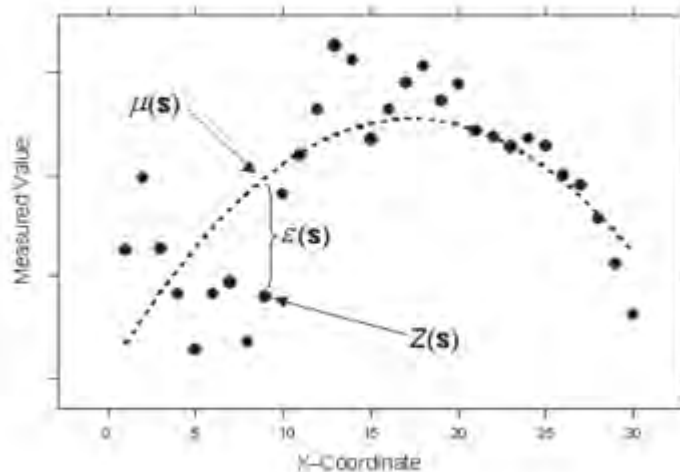
Η Simple Kriging αποτελεί την πλέον κλασσική μέθοδο kriging. Όλες οι άλλες μέθοδοι kriging αποτελούν παραλλαγές αυτής. Η τιμή της άγνωστης μεταβλητής υπολογίζεται προϋποθέτοντας ότι είναι γνωστή η μέση τιμή των δειγμάτων.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + [\sum_{i=1}^n \lambda_i] \mu = z(x_0)$$



5.3.3.3 Universal Kriging

Η μέθοδος του Universal Kriging χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα παρουσιάζουν κάποια «τάση» (trend) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



5.3.3.4 Indicator Kriging

Στην Indicator Kriging τα αρχικά δεδομένα μετασχηματίζονται σε δυαδικά. Αυτό σημαίνει ότι με βάση μια συγκεκριμένη τιμή (threshold), τα δεδομένα με μεγαλύτερες τιμές αυτής εξισώνονται με μονάδα, ενώ αυτά με μικρότερες αυτής με μηδέν. Χρησιμοποιώντας δυαδικές μεταβλητές το ενδεικτικό Kriging ακολουθεί την ίδια διαδικασία με το ordinary. Καθώς οι μεταβλητές είναι δυαδικές (0,1) οι εκτιμήσεις από το ενδεικτικό kriging θα είναι μεταξύ 0,1 και μπορούν να θεωρηθούν σαν πιθανότητες της μεταβλητής να είναι 1 ή να ανήκει στην κλάση του 1.

5.3.3.5 Co-Kriging

Η co-kriging είναι μια τεχνική εκτίμησης χρήσιμη όταν δύο ή περισσότερες μεταβλητές οι οποίες συσχετίζονται μεταξύ τους καταμετρώνται στο πεδίο και μπορούν να εκτιμηθούν μαζί. Για παράδειγμα αν σε έναν υδροφόρο η συγκέντρωση στο νερό διαφόρων μετάλλων είναι συσχετισμένη τότε είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε σε μια τοποθεσία το ποσό του μετάλλου σε σχέση με

μετρήσεις άλλων που είναι συσχετισμένο. Το co-kriging είναι μια πιο εξεζητημένη και ακριβής μέθοδος για τη χρησιμοποίηση και των δύο ειδών των δεδομένων από την απλή παλινδρόμηση και το kriging με αβέβαια δεδομένα.

5.4 Δείκτες στατιστικού ελέγχου αποτελεσμάτων και επαλήθευσης των μεθόδων χωρικής παρεμβολής

Για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων ή την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των μεθόδων χωρικής παρεμβολής, χρησιμοποιούνται ορισμένοι στατιστικοί δείκτες οι οποίοι προκύπτουν από την σχέση των μετρημένων τιμών και των τιμών που υπολογίζονται από κάθε μέθοδο. Ο πιο ευρέως διαδεδομένος δείκτης σφάλματος μιας κατανομής είναι το τυπικό σφάλμα μέτρησης (measurement standard error) , το οποίο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Όπου s= τυπική απόκλιση σφάλματος

Και n = αριθμός σημείων μέτρησης

Η τυπική απόκλιση του σφάλματος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (Z(S_i) - z(s_i))^2}$$

Εκτός του σταθερού σφάλματος υπάρχουν και άλλοι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής. Ορισμένοι από αυτούς υπολογίζονται για όλες τις μεθόδους όπως το μέσο σφάλμα(mean error) :

$$\sigma_m = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(S_i) - z(s_i))}{n}$$

και η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (root mean square error):

$$\sigma_{sq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(S_i) - z(s_i))^2}{n}}$$

Τέλος υπάρχουν στατιστικοί δείκτες που μπορούν να υπολογιστούν μόνο για τις γεωστατιστικές μεθόδους όπως το μέσο τυποποιημένο σφάλμα(mean standardized prediction error):

$$\sigma_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(S_i) - z(s_i))/\sigma(s_i)}{n}$$

5.4.1 Υπολογισμός του σφάλματος στο Kriging (μέθοδος cross – validation)

Στη μέθοδο cross-validation ή αλλιώς διαδικασία επαλήθευσης χρησιμοποιούνται δεδομένα για την εκτίμηση των τάσεων και της αυτοσυσχέτισης. Αρχικά αφαιρείται ένα σημείο του δείγματος και κάθε φορά εκτιμάται η τιμή στη θέση αυτή με βάση όλα τα υπόλοιπα σημεία. Στη συνέχεια αφαιρούνται οι εκτιμώμενες από τις πραγματικές τιμές και παίρνουμε το σφάλμα πρόβλεψης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης. Το ζητούμενο είναι οι τιμές πρόβλεψης να έχουν μικρή διαφορά από τις πραγματικές (αμεροληψία).

5.4.2 Συμπεράσματα για τις τιμές των στατιστικών δεικτών

- Το μέσο σφάλμα πρόβλεψης θα πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν, όπως επίσης και το μέσο τυποποιημένο σφάλμα.
- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα πρόβλεψης (average standard errors) έχουν μικρή διαφορά από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης (root mean squared prediction error) η πρόβλεψη είναι σωστή.

Διπλωματική Εργασία

- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα είναι μεγαλύτερα από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης τότε οι προβλέψεις είναι υπερεκτιμημένες.
- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα είναι μικρότερα από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης τότε οι προβλέψεις είναι υποτιμημένες.
- Τέλος αν τα σφάλματα πρόβλεψης είναι έγκυρα θα πρέπει και τα μέσα τετραγωνικά σταθμισμένα σφάλματα (root mean squared standardized errors) να είναι κοντά στη μονάδα. Αν είναι μεγαλύτερα από τη μονάδα τότε οι τιμές πρόβλεψης είναι υποτιμημένες. Αν είναι μικρότερα της μονάδας τότε είναι υπερεκτιμημένες.

Η μέθοδος kriging στο χώρο της υδρολογίας έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών όπως:

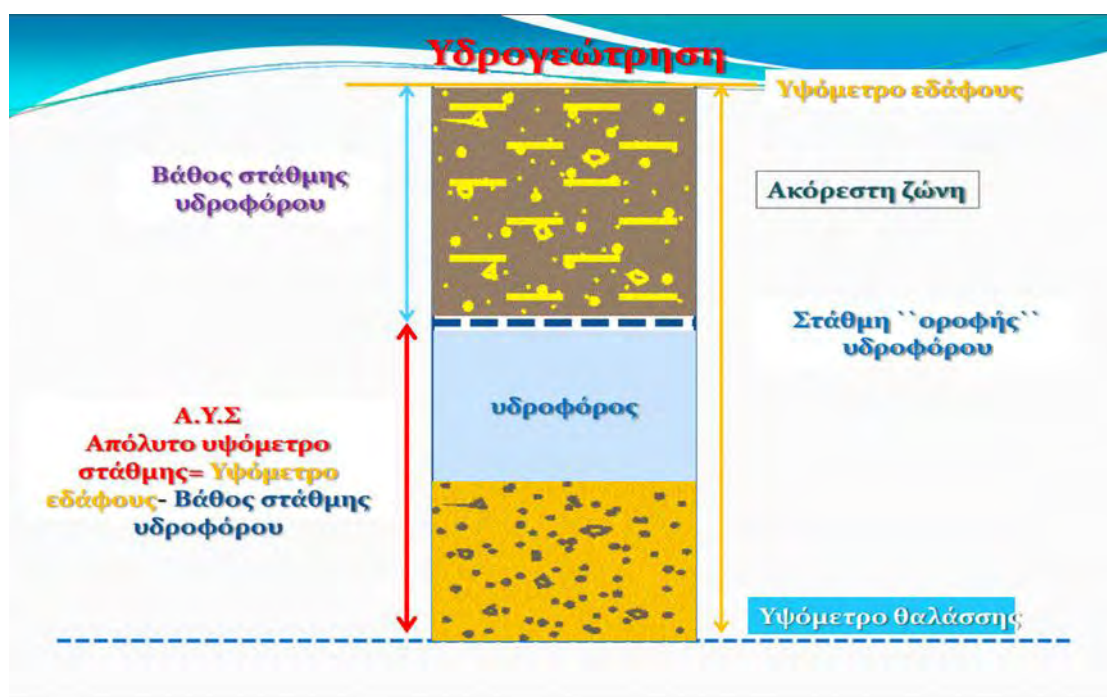
- Εκτίμηση βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας με βάση μετρήσεις από κλιματολογικούς σταθμούς (Martinez,1995).
- Παρεμβολή του πάχους ή της υψομετρίας υπόγειων γεωλογικών σχηματισμών με βάση μετρήσεις από πηγάδια.
- Εκτίμηση υδρογεωλογικών παραμέτρων όπως είναι η μεταφερσιμότητα ενός ταμιευτήρα, το πιεζομετρικό φορτίο, η υδραυλική αγωγιμότητα, οι συγκεντρώσεις διαλυτών , με βάση μετρήσεις από πιεζόμετρα (Gundogdu, 2007).
- Απεικόνιση συγκεντρώσεων ρυπαντών σε μια λίμνη , απεικόνιση ύπαρξης γεωθερμικού πεδίου (Arslan,2012).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε εφαρμογή των διάφορων εργαλείων χωρικής παρεμβολής για να μελετηθεί η ποσοτική και ποιοτική κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης του Αλμυρού

6. Εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης στη περιοχή μελέτης

6.1 Χωρική κατανομή της πιεζομετρίας στη περιοχή μελέτης

Οι πιεζομετρικοί χάρτες απεικονίζουν τη μορφολογία της ελεύθερης επιφάνειας (στάθμη ηρεμίας) του υδροφόρου ορίζοντα. Για τη δημιουργία τους πρέπει να γνωρίζουμε το απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειας σε πολλές θέσεις (πηγάδια, γεωτρήσεις). Γνωρίζοντας το απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους (δηλαδή την κάθετη απόσταση από το επίπεδο της θάλασσας, που θεωρείται ότι έχει υψόμετρο 0), μετράμε το βάθος στο οποίο βρίσκεται η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Η διαφορά τους είναι το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης. Η παρακάτω εικόνα περιγράφει πώς προκύπτει το απόλυτο υψόμετρο στάθμης όταν έχουμε στη διάθεση μας το απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους και το βάθος της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα.

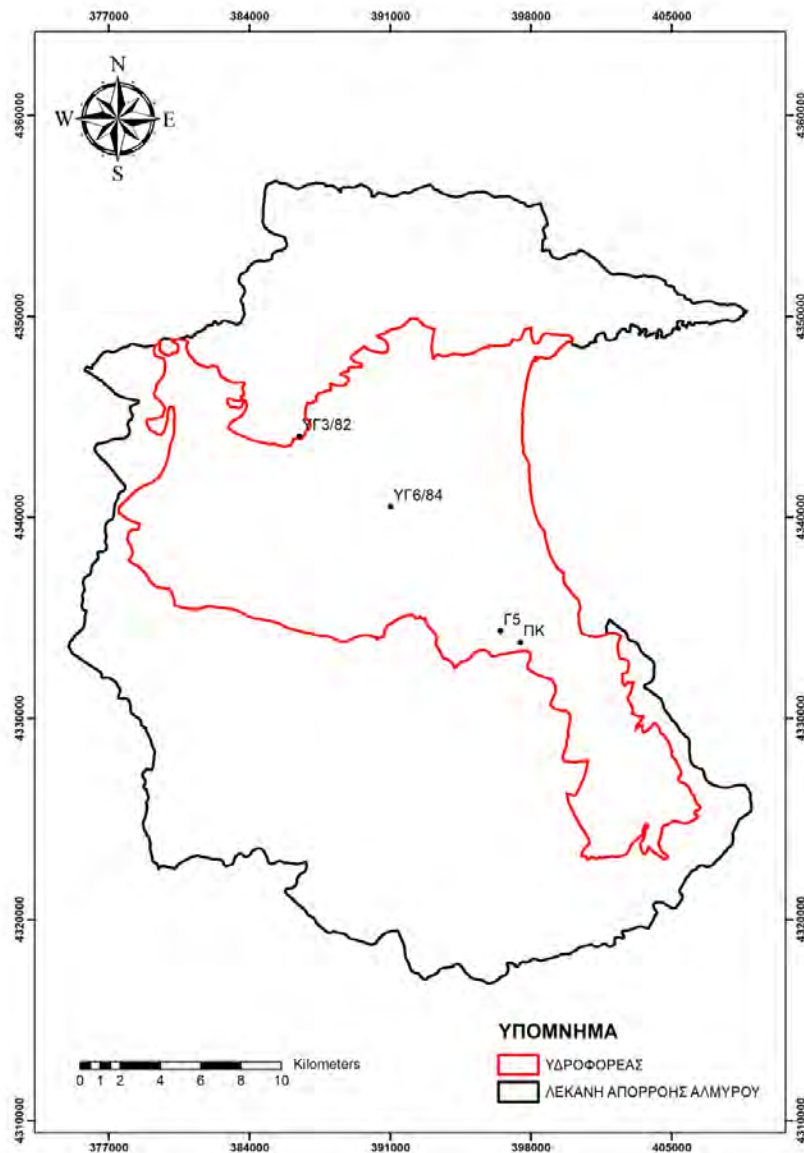


Εικόνα 25: Απεικόνιση του απόλυτου υψομέτρου στάθμης

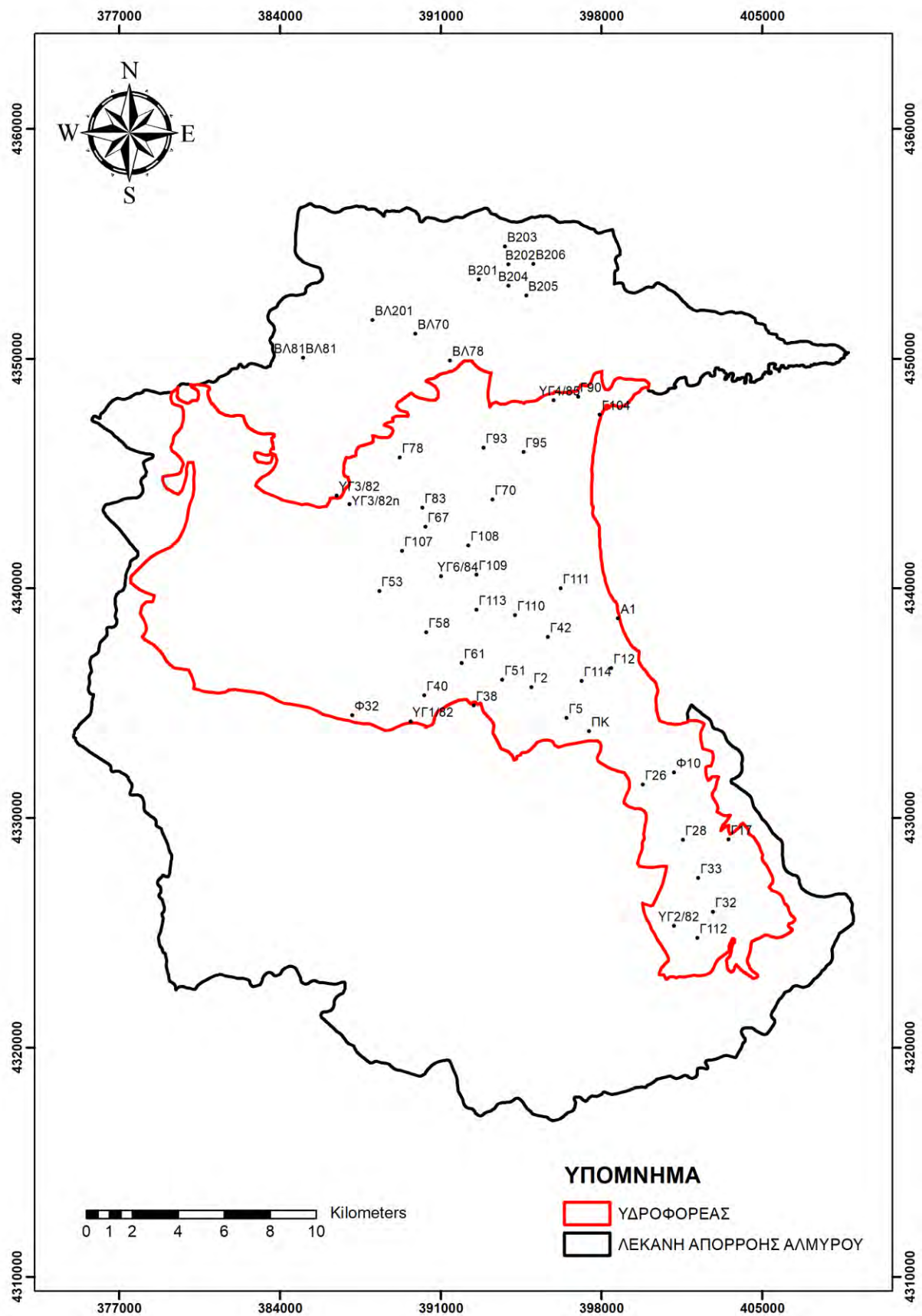
Στη διάθεση μας είχαμε για το διάστημα 2000-2014 μια σειρά μετρήσεων της στάθμης του υπόγειου νερού εντός της περιοχής μελέτης από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών). Τα σημεία που είχαμε

Διπλωματική Εργασία

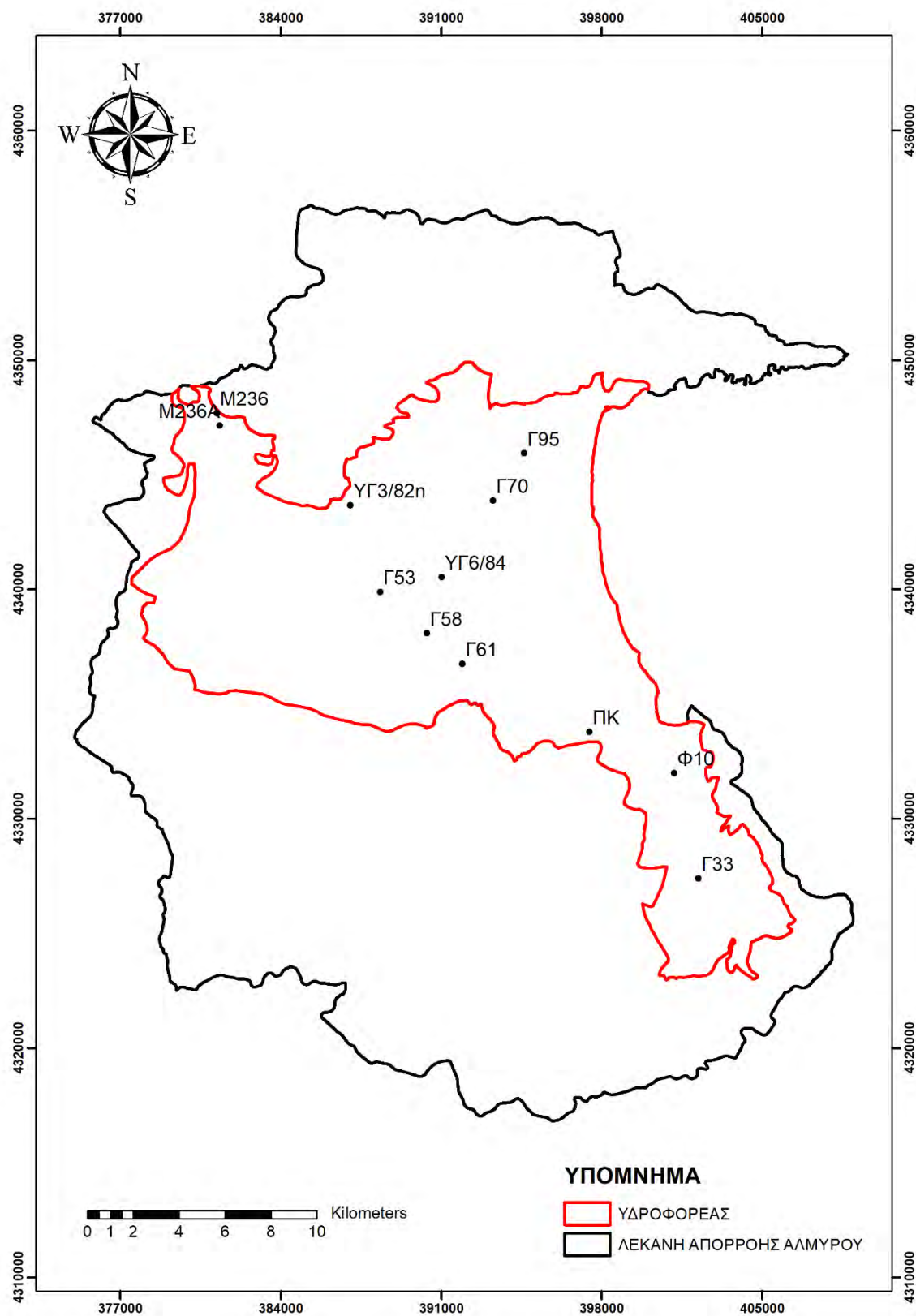
εντός περιοχής για τις περιόδους 2000-2004, 2005-2008, 2013-2015 αντίστοιχα παρουσιάζονται παρακάτω. Για τη δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών στην περιοχή μελέτης δοκιμάσαμε διάφορες μεθόδους χωρικής παρεμβολής, όπως η Radial Basis Function, Inverse Distance Weight, Ordinary Kriging, Simple Kriging, Topo To raster. Η περίοδος μελέτης μας είναι το διάστημα 2005-2008 διότι ήταν διαθέσιμα τα περισσότερα σημεία λόγω συστηματικής παρακολούθησης της κατάστασης των υπόγειων υδατικών πόρων. Επειδή η μελέτη γίνεται σε επίπεδο του υπόγειου υδατικού συστήματος του Αλμυρού παρεμβολή των σημείων γίνεται με τα όρια των υδροφορέα.



Εικόνα 26: Σημεία δειγματοληψίας 2000-2004



Εικόνα 27: Σημεία δειγματοληψίας 2005-2008



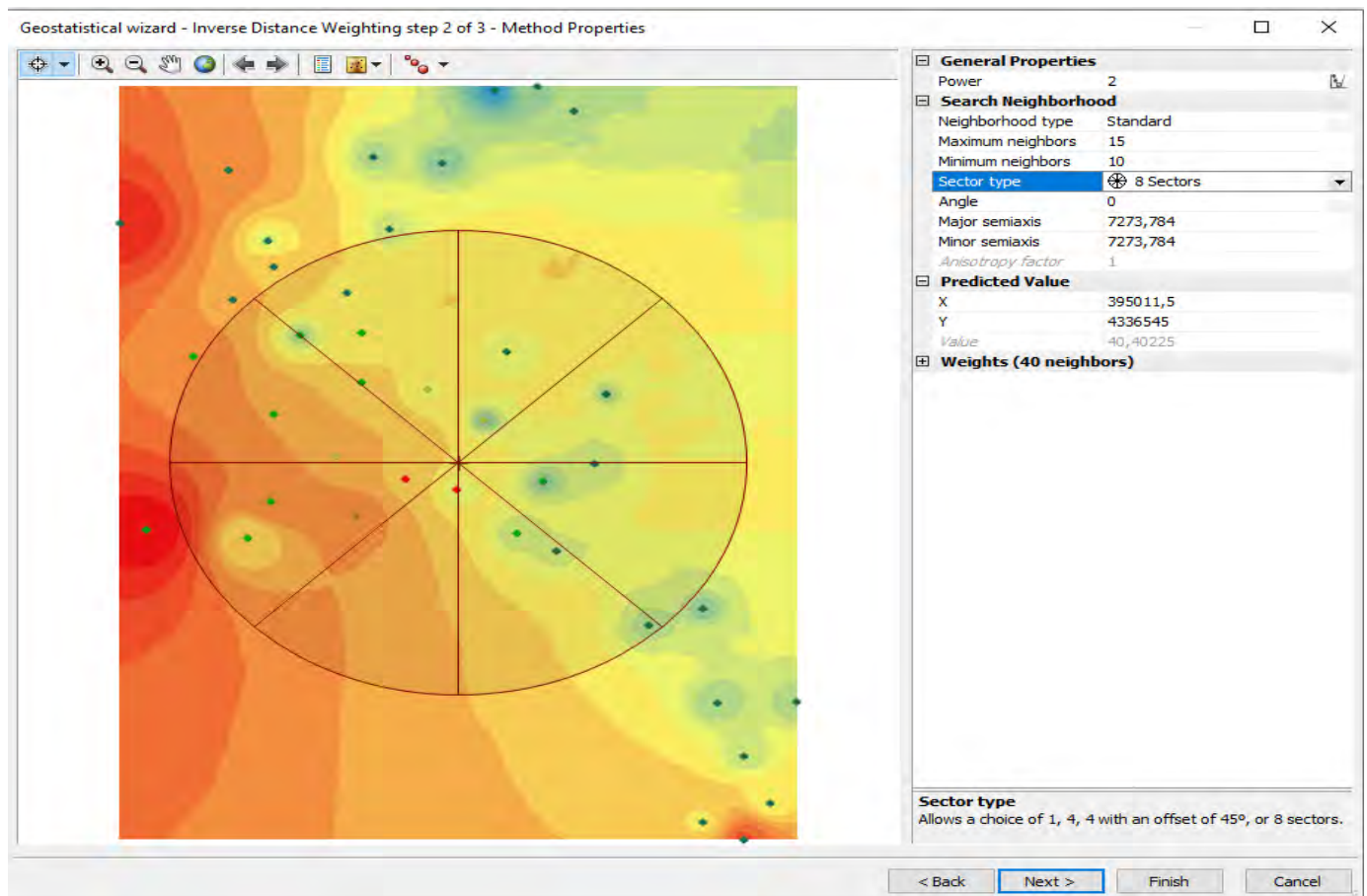
Εικόνα 28 : Σημεία δειγματοληψίας 2013-2015

6.1.1 Εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής στη περίοδο μελέτης για τη δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών

Η περίοδος μελέτης είναι το χρονικό διάστημα 2005-2008 και για το κάθε έτος υπήρχαν τιμές από τα σημεία δειγματοληψίας που παρουσιάσαμε παραπάνω μόνο για συγκεκριμένους μήνες. Για αυτούς τους μήνες δημιουργήθηκαν αντίστοιχοι πιεζομετρικοί χάρτες. Το λογισμικό ArcMap 10.2 δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας τους τέτοιων χαρτών καθώς περιείχε μεθόδους χωρικής παρεμβολής. Παρακάτω αναλύεται πως έγινε η εφαρμογή κάθε μεθόδου με τη χρήση του λογισμικού ArcMap 10.2 και στη συνέχεια θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κάθε μέθοδο , συνδυασμένα με στατιστικούς πίνακες που βοηθούν στην αξιολόγηση τους, ώστε να καταλήξουμε ποια μέθοδος μπορούσε να αποτυπώσει καλύτερα την υφιστάμενη κατάσταση.

6.1.1.1 Μέθοδος Inverse Distance Weighting

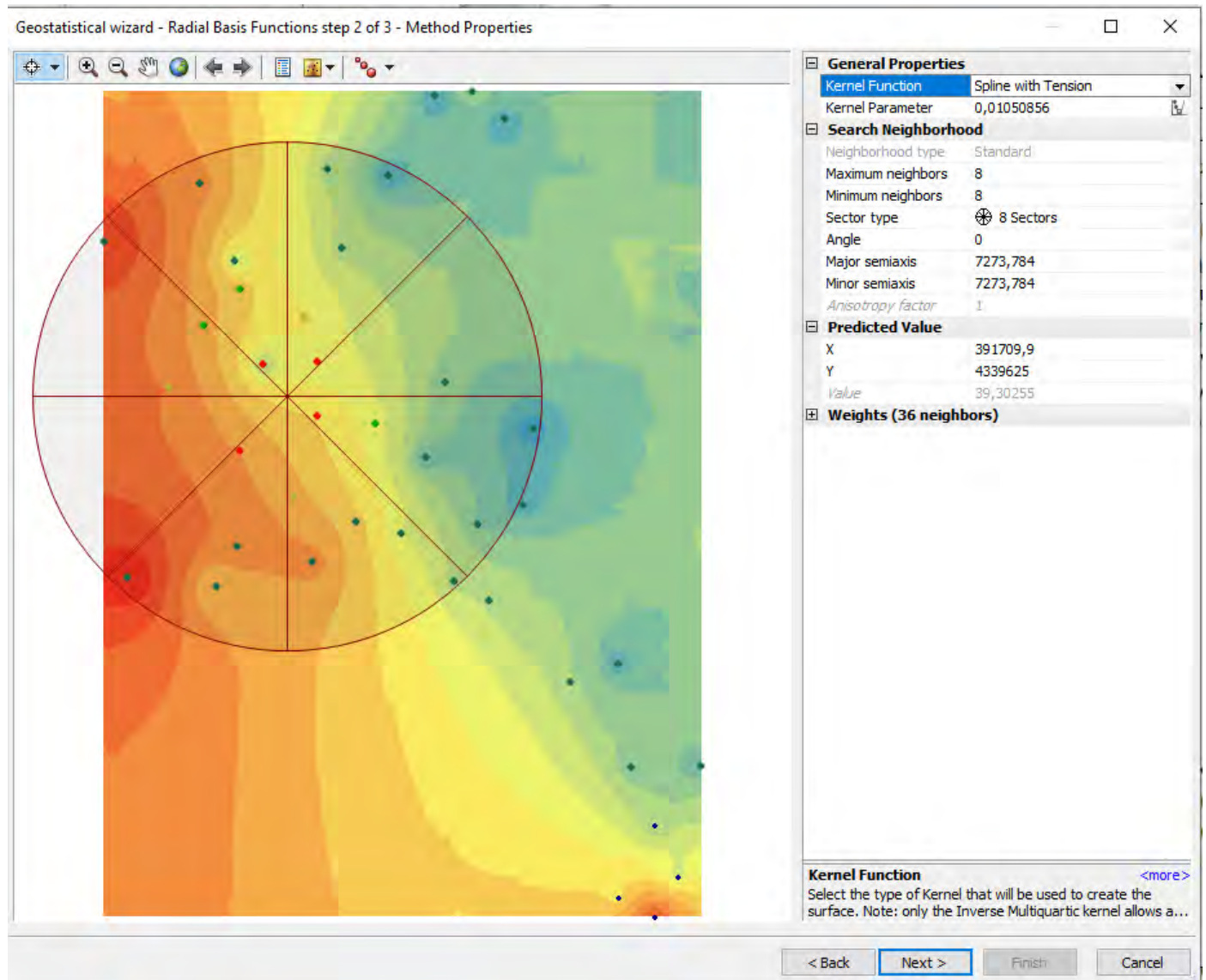
Επιλέγοντας τη συγκεκριμένη μέθοδο από το λογισμικό ArcMap 10.2 αρχικά θα πρέπει να γίνει η επιλογή μιας δεύτερης μεταβλητής στην οποία θα δώσει βαρύτητα η μέθοδος. Η πρώτη μεταβλητή είναι το απόλυτο υψόμετρο, και εμείς επιλέγουμε η δεύτερη μεταβλητή να είναι το υψόμετρο. Υπενθυμίζουμε ότι η μέθοδος IDW ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων τοπικών εκτιμήσεων ,δηλαδή η εκτίμηση της τιμής του χαρακτηριστικού που μελετάμε σε μια συγκεκριμένη θέση βρίσκεται στην άμεση γειτονική περιοχή του. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα της επιλογής ποιο θα είναι το υπό εκτίμηση σημείο και κατ'επέκταση τη γειτονική περιοχή του όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 29: Μέθοδος IDW : Επιλογή σημείου και γειτονικής περιοχής του

6.1.1.2 Μέθοδος Radial Basis Function (RBS)

Για την εφαρμογή της μεθόδου Radial Basis Functions το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα επιλογής του υπό εκτίμηση σημείου άρα και την άμεση γειτονική περιοχή του αλλά και μια από τις πέντε διαφορετικές παραλλαγές της μεθόδου (thin plate spline, spline with tension, completely regularized spline, multiquadric function, inverse multiquadric function). Για τα δεδομένα μας καλύτερη εφαρμογή είχε η παραλλαγή «spline with tension».



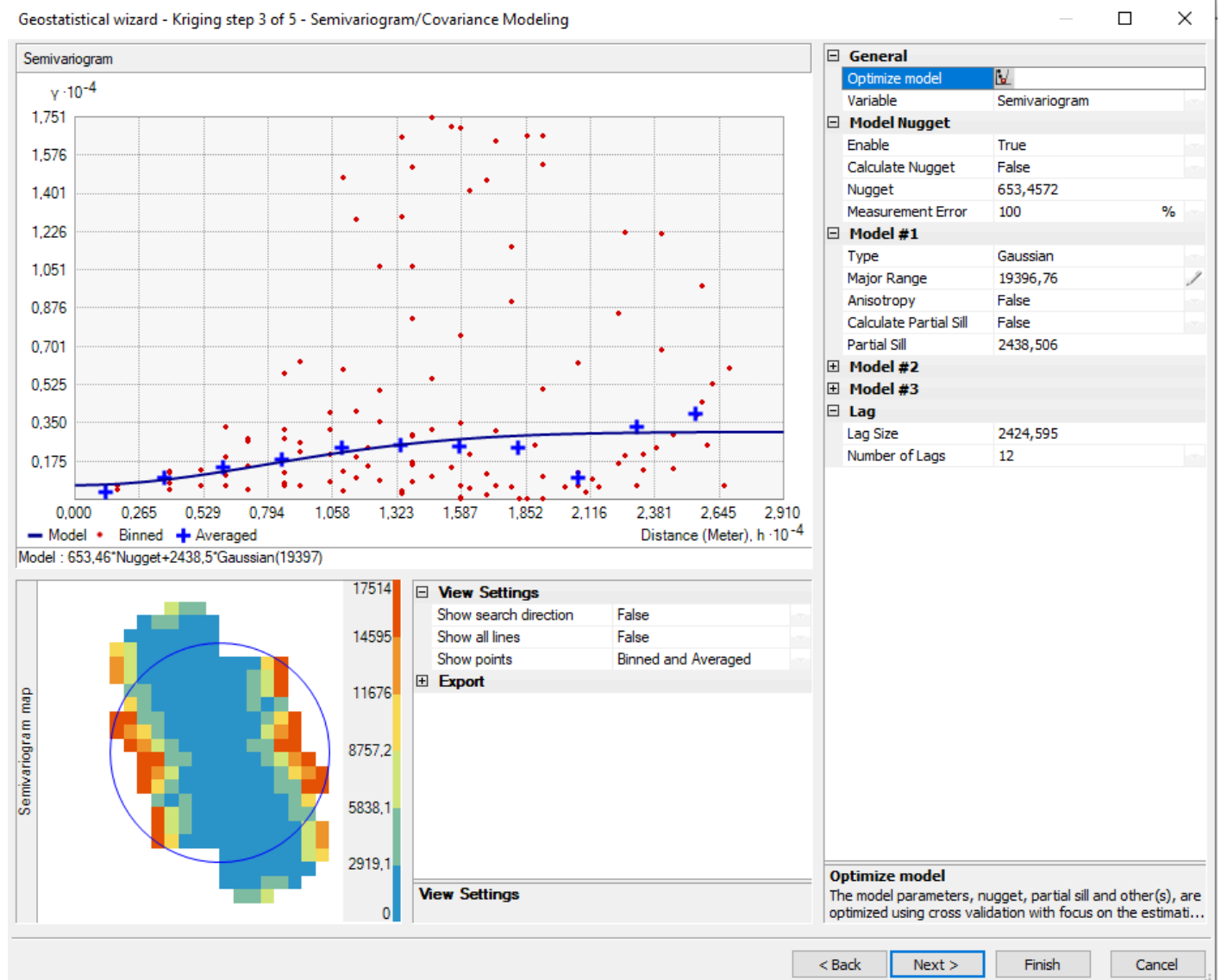
Εικόνα 30: Μέθοδος **RBS**: Επιλογή κατάλληλης παραλλαγής, σημείου και γειτονικής περιοχής του

6.1.1.3 Μέθοδος Ordinary Kriging

Για την εφαρμογή της μεθόδου ordinary kriging (χωρίς μετασχηματισμό στα δεδομένα μας) είχαμε τη δυνατότητα να αναλύσουμε τα δεδομένα μας και να αποφασίσουμε ποιο ημιβαριόγραμμα ταιριάζει καλύτερα με αυτά. Επίσης το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα να συμπληρώσει τις τιμές του ημιβαριογράμματος με τις βέλτιστες. Στη συνέχεια γίνεται επιλογή του υπό εκτίμηση σημείου άρα και την άμεση γειτονική περιοχή του. Τέλος το λογισμικό παρέχει τα αποτελέσματα της μεθόδου cross validation καθώς και

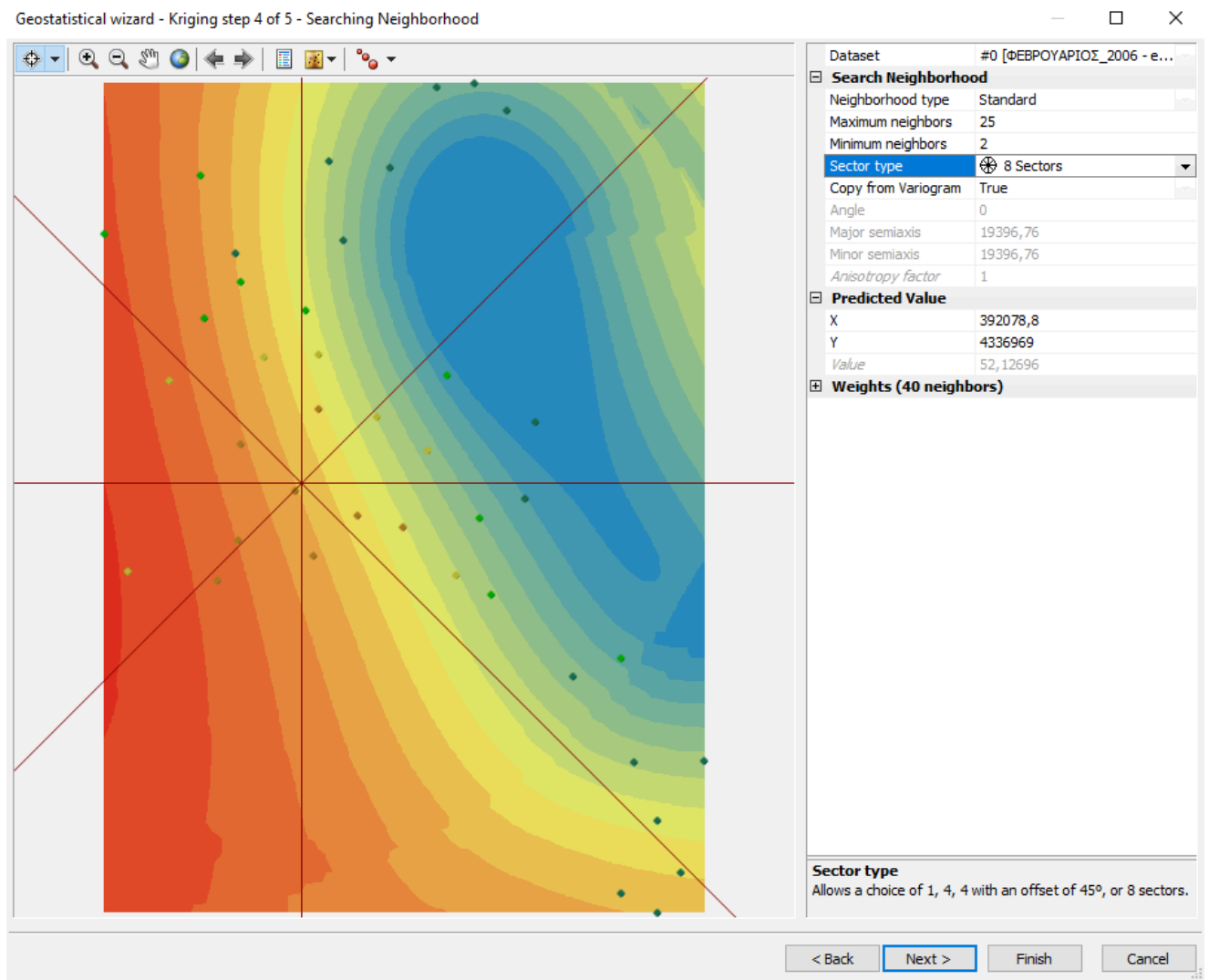
Διπλωματική Εργασία

τους στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν για την αξιολόγηση της παρεμβολής.



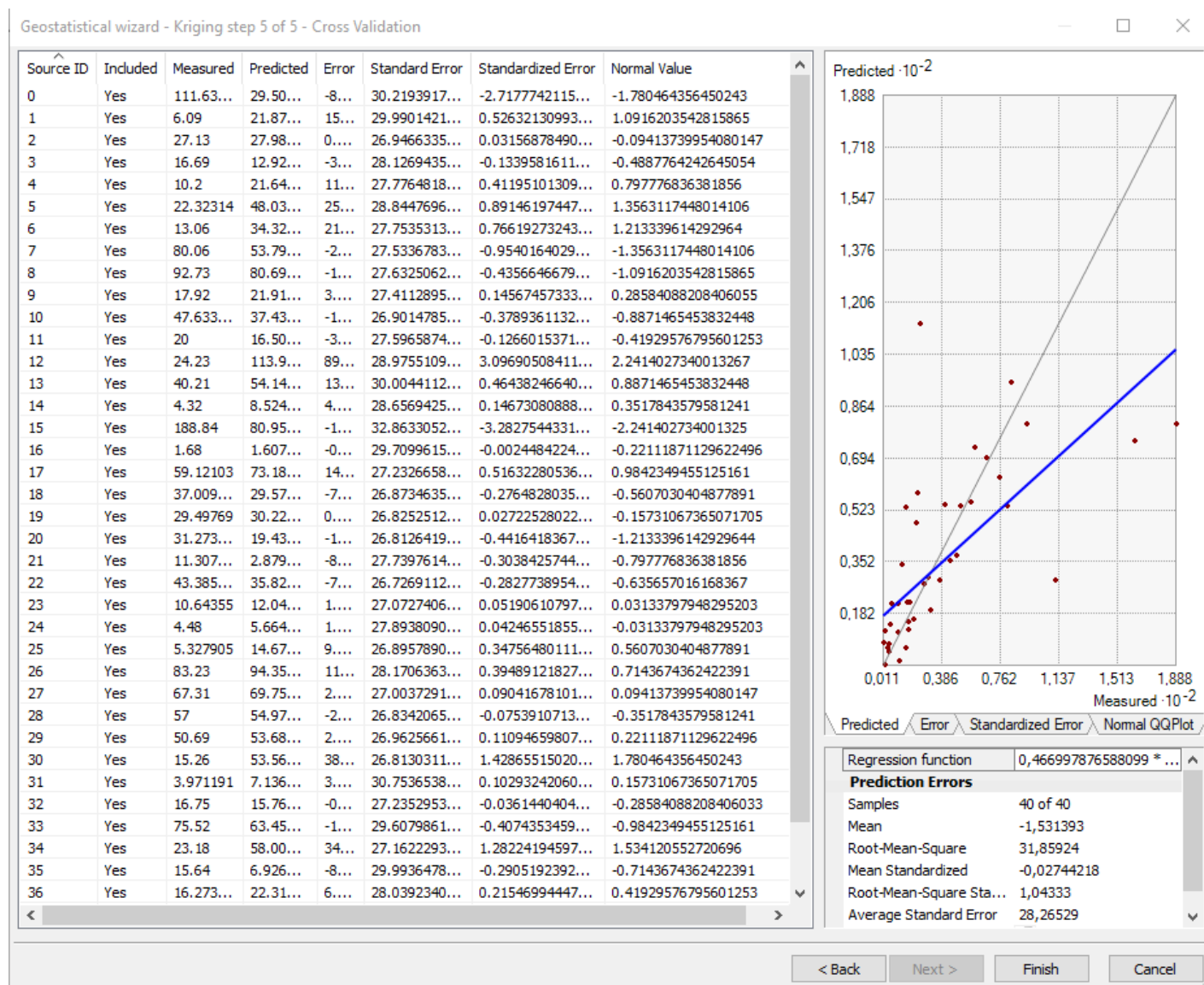
Εικόνα 31: Επιλογή κατάλληλου μοντέλου ημιβαριογράμματος

Διπλωματική Εργασία



Εικόνα 32: Επιλογή σημείου και γειτονικής περιοχής

Διπλωματική Εργασία



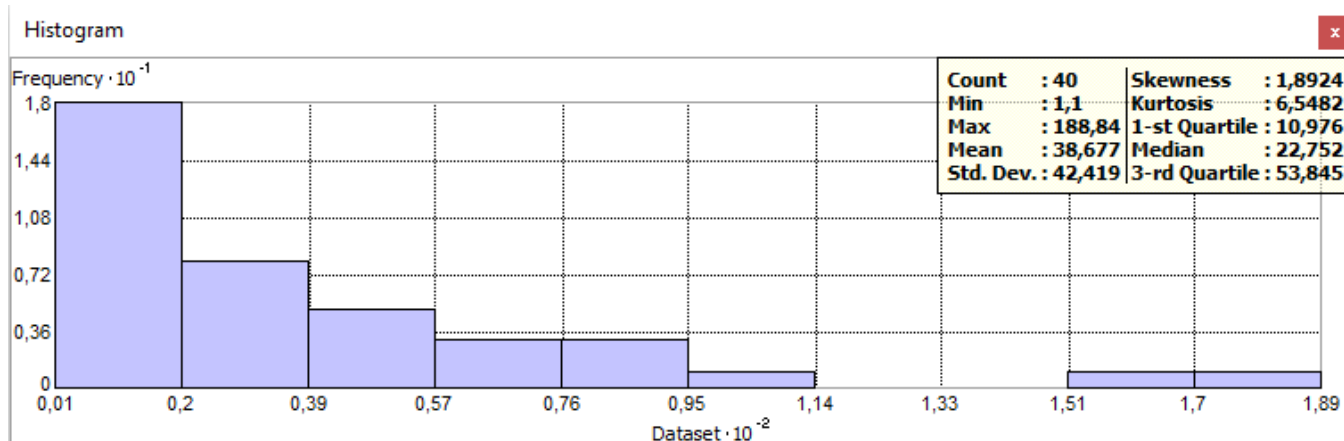
Εικόνα 33: Επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο cross validation

6.1.1.4 Simple Kriging με μετασχηματισμό Normal Score και αφαίρεση τάσης

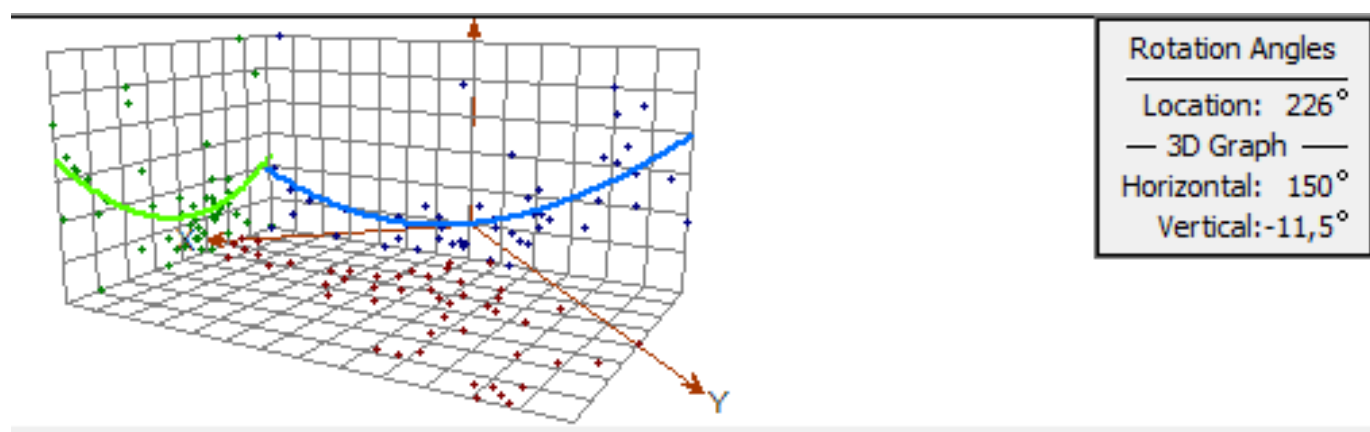
Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου kriging είναι τα δεδομένα να ακολουθούν κανονική κατανομή. Με τη χρήση του λογισμικού ArcMap κάνοντας ανάλυση των δεδομένων γίνεται η διαπίστωση αν τα δεδομένα ακολουθούν ή όχι κανονική κατανομή. Σε περίπτωση που δεν την ακολουθούν μπορούμε να εφαρμόσουμε μια πληθώρα μετασχηματισμών ώστε τα δεδομένα μας να προσεγγίσουν την κανονική κατανομή όμως ο μετασχηματισμός Normal Score (το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να τον χρησιμοποιήσουμε μόνο με την μέθοδο Simple Kriging) λειτουργούσε

Διπλωματική Εργασία

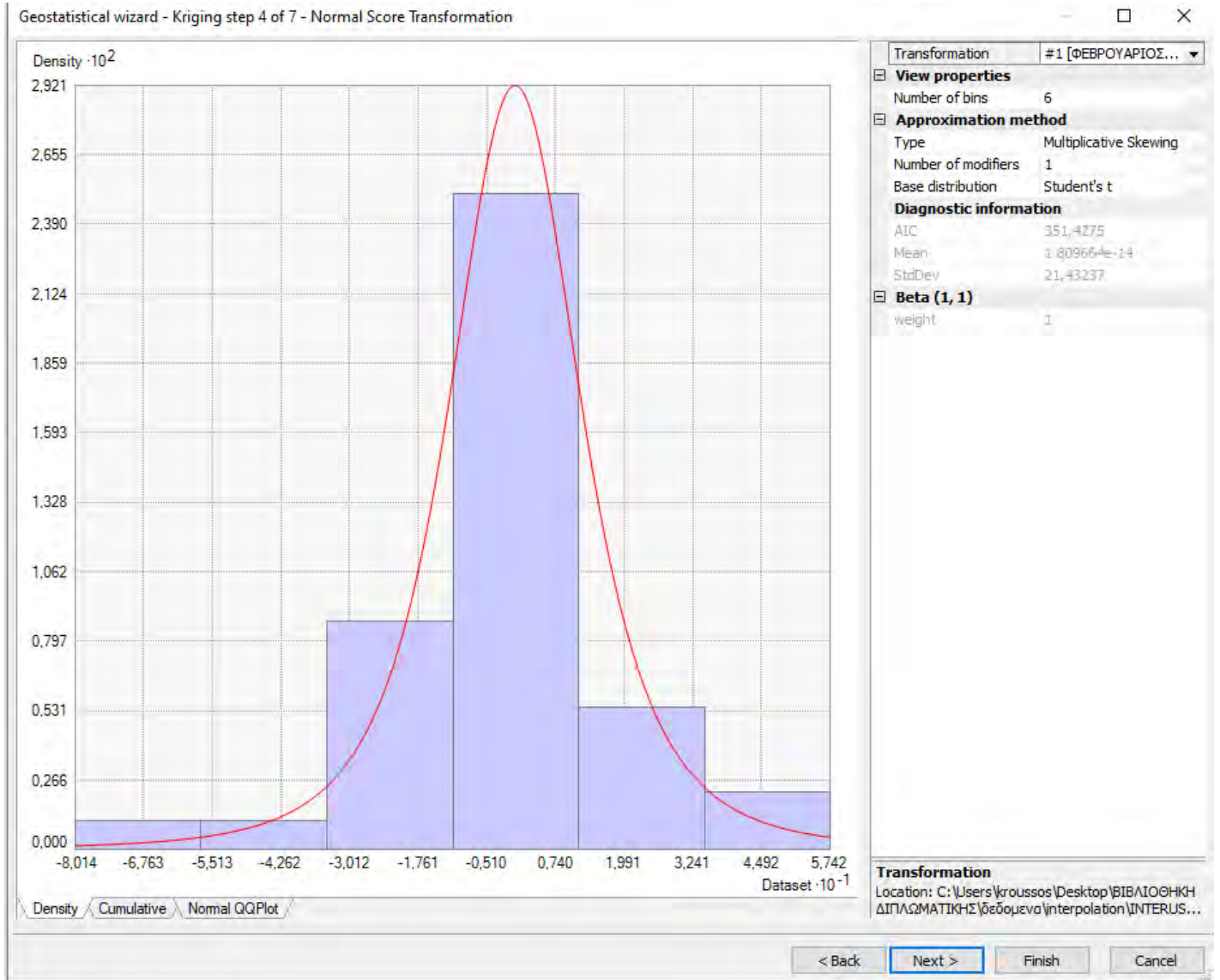
καλύτερα με τα δεδομένα μας. Ακόμη με τη χρήση του εργαλείου Trend Analysis μπορούμε να δούμε αν υπάρχουν τάσεις στα δεδομένα μας. Δηλαδή αν τα δεδομένα μας προβάλλονται στους άξονες X,Y με κάποιο τρόπο. Στη περίπτωση μας προβάλλονται με συναρτήσεις δευτέρου βαθμού. Το λογισμικό μας δίνει τη δυνατότητα να αφαιρέσουμε αυτές τις τάσεις. Στη συνέχεια τα βήματα σχετικά με την επιλογή ημιβαριογράμματος και του υπό εκτίμηση σημείου είναι ίδια όπως αναφέρεται στη παράγραφο αρίθμηση παραγράφου 6.1.2 ποια είναι εννοώ να βάλετε με τη μέθοδο kriging. Παρακάτω δίνεται η εικόνα της αρχικής κατανομής των δεδομένων μας και πως έγινε μετά τον μετασχηματισμό και την αφαίρεση τάσης.



Εικόνα 35: Ιστόγραμμα των δεδομένων που προκύπτουν από τα σημεία δειγματοληψίας



Εικόνα 34: Ανάλυση δεδομένων για εύρεση τάσεων



Εικόνα 36: Ιστόγραμμα δεδομένων μετά τον μετασχηματισμό Normal score και την αφαίρεση τάσεων, ώστε να προσεγγίζει την κανονική κατανομή

6.1.1.5 Μέθοδος Topo to Raster

Η μέθοδος Topo To Raster είναι ιδιαίτερη απλή στην εφαρμογή της καθώς το λογισμικό το μόνο που απαιτεί είναι η εισαγωγή των δεδομένων παρεμβολής (σημεία δειγματοληψίας, περιοχή δειγματοληψίας). Οι προκαθορισμένες τιμές που υπάρχουν σε διάφορα πεδία όπως θα δείξουμε παρακάτω ικανοποιούσαν τα αποτελέσματα μας οπότε δε χρειάστηκε να τροποποιηθούν.

Διπλωματική Εργασία

Topo to Raster

Input feature data

Feature layer	Field	Type
ΟΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ		Boundary
ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	elev_wat_l	PointElevation

Output surface raster
C:\Users\kroussos\Documents\ArcGIS\Default.gdb\TopoToR_OPIA1

Output cell size (optional)
107,793204988487

Output extent (optional)

Left: 377489,014014 Top: 4349916,301247 Right: 406429,849190
Bottom: 4322968,000000

Margin in cells (optional)
20

Smallest z value to be used in interpolation (optional)

Largest z value to be used in interpolation (optional)

Drainage enforcement (optional)
ENFORCE

Primary type of input data (optional)
SPOT

Maximum number of iterations (optional)
20

Roughness penalty (optional)

Profile curvature roughness penalty (optional)

Discretisation error factor (optional)
1

Vertical standard error (optional)
0

Tolerance 1 (optional)
0

Tolerance 2 (optional)
200

OK Cancel Environments... Show Help >>

Εικόνα 37: Συμπλήρωση πεδίων στην Topo to Raster

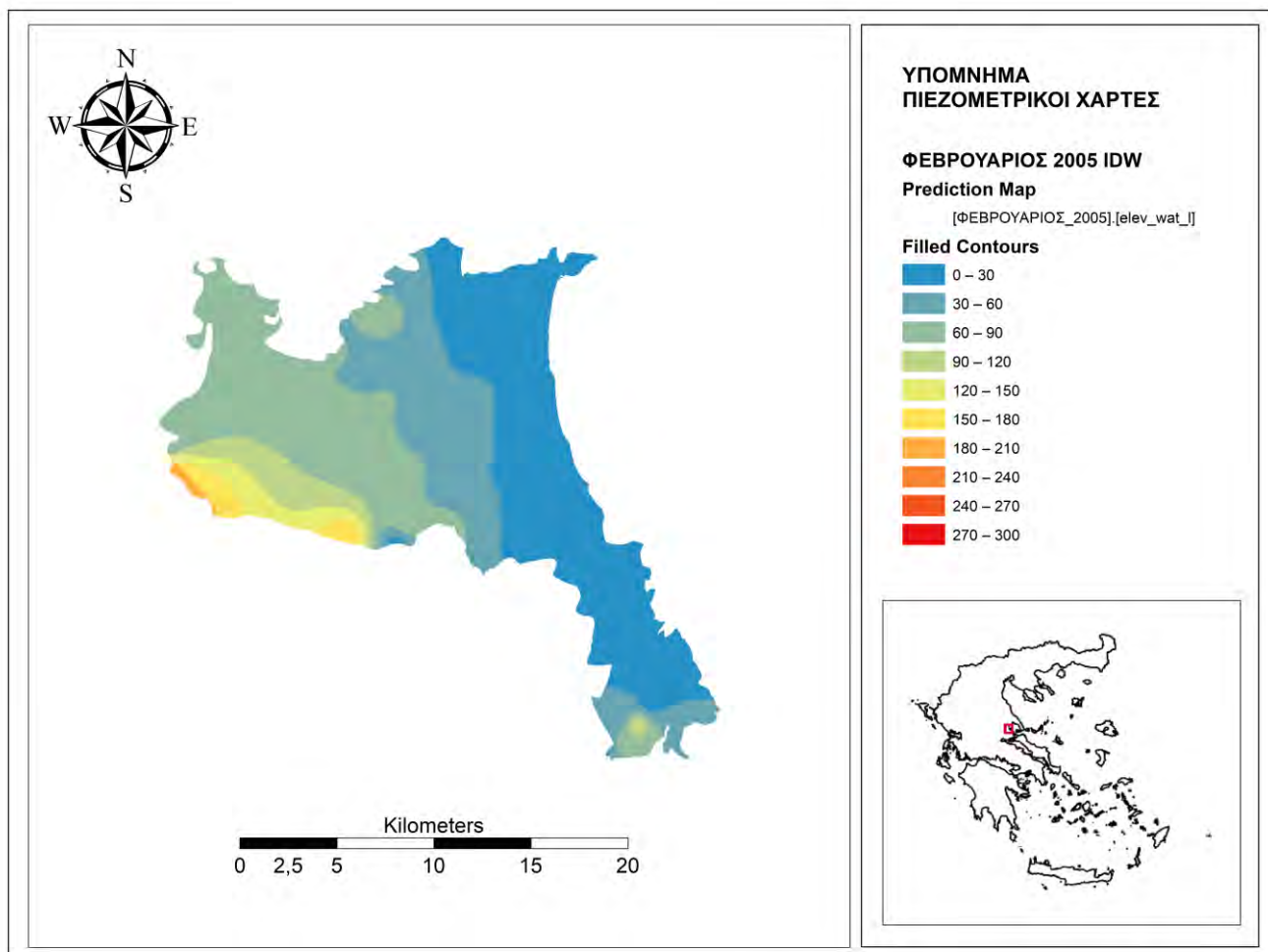
Εικόνα 38: Συμπλήρωση πεδίων

6.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

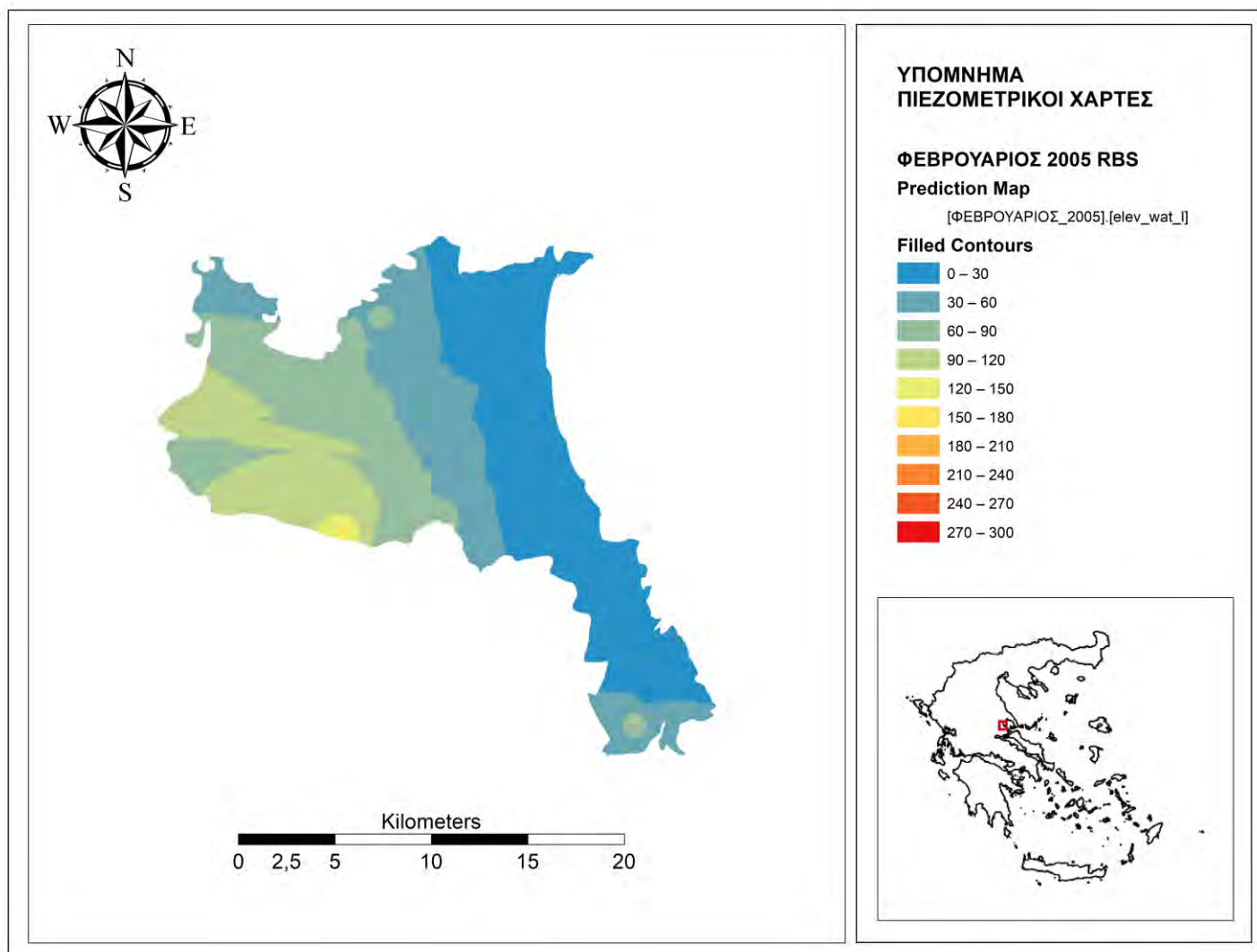
Παρακάτω για την περίοδο μελέτης 2005-2008 παρουσιάζονται για κάθε έτος οι μήνες στους οποίους υπήρχε ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων ώστε να εφαρμοστούν οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής

2005

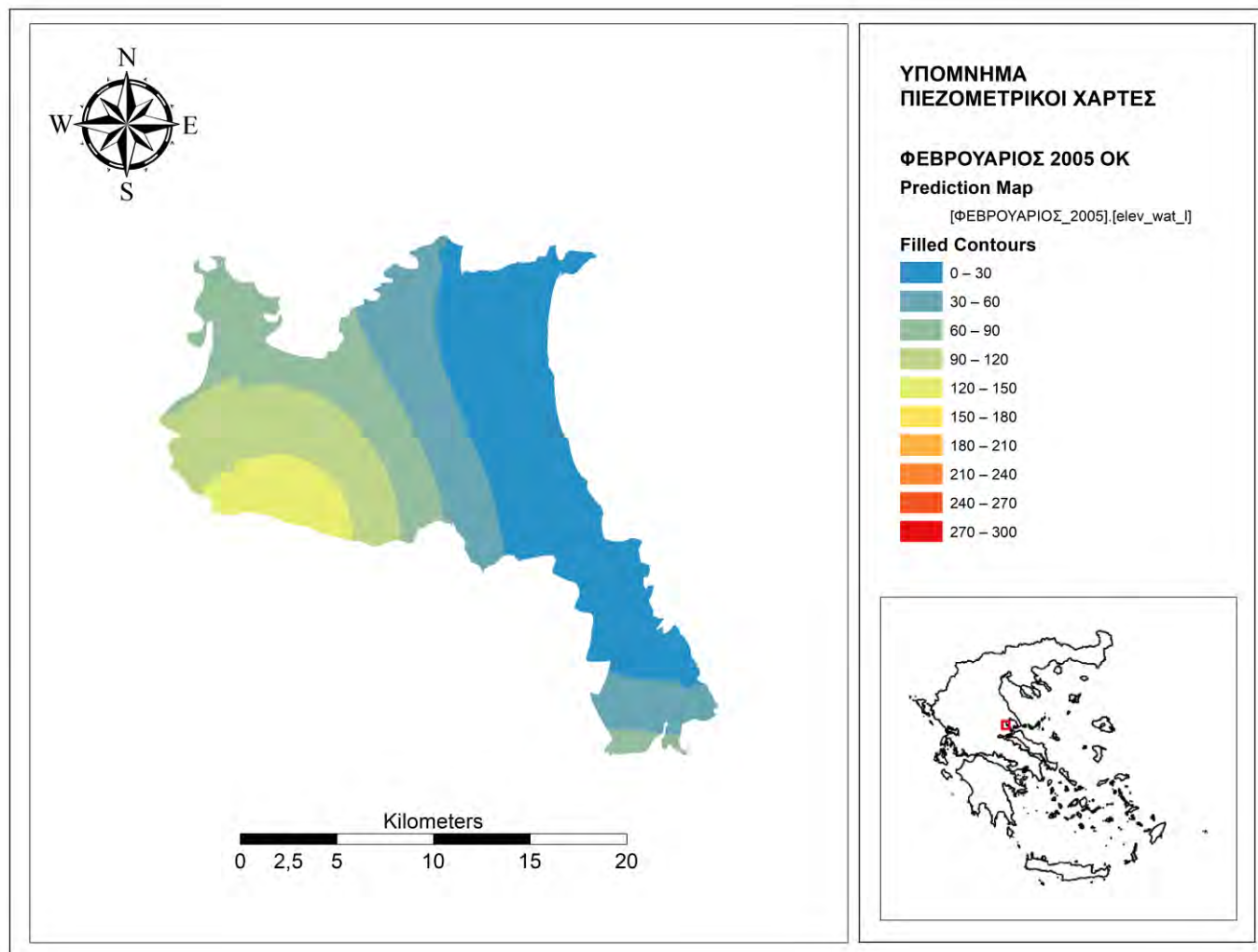
➤ Φεβρουάριος



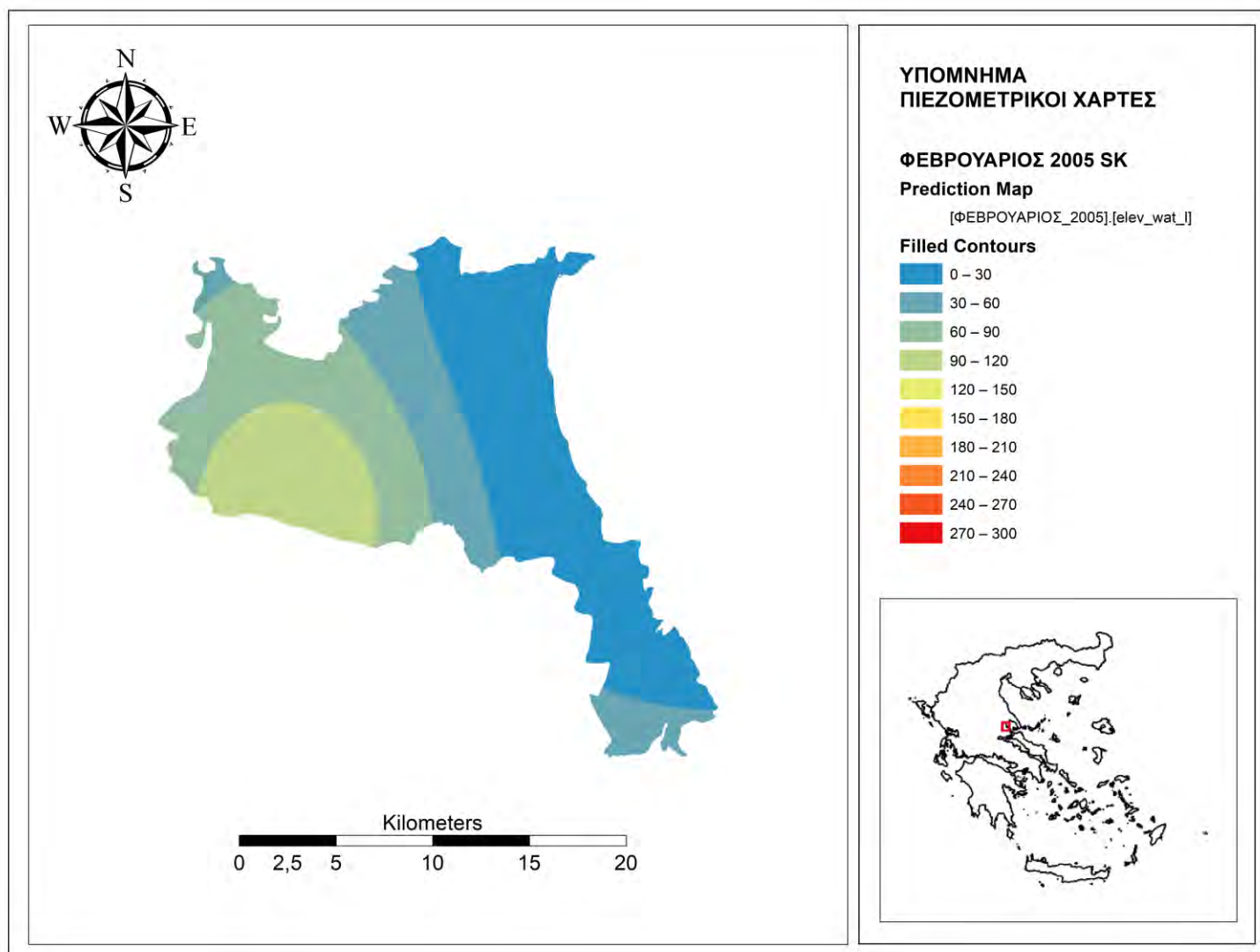
Εικόνα 39: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 IDW



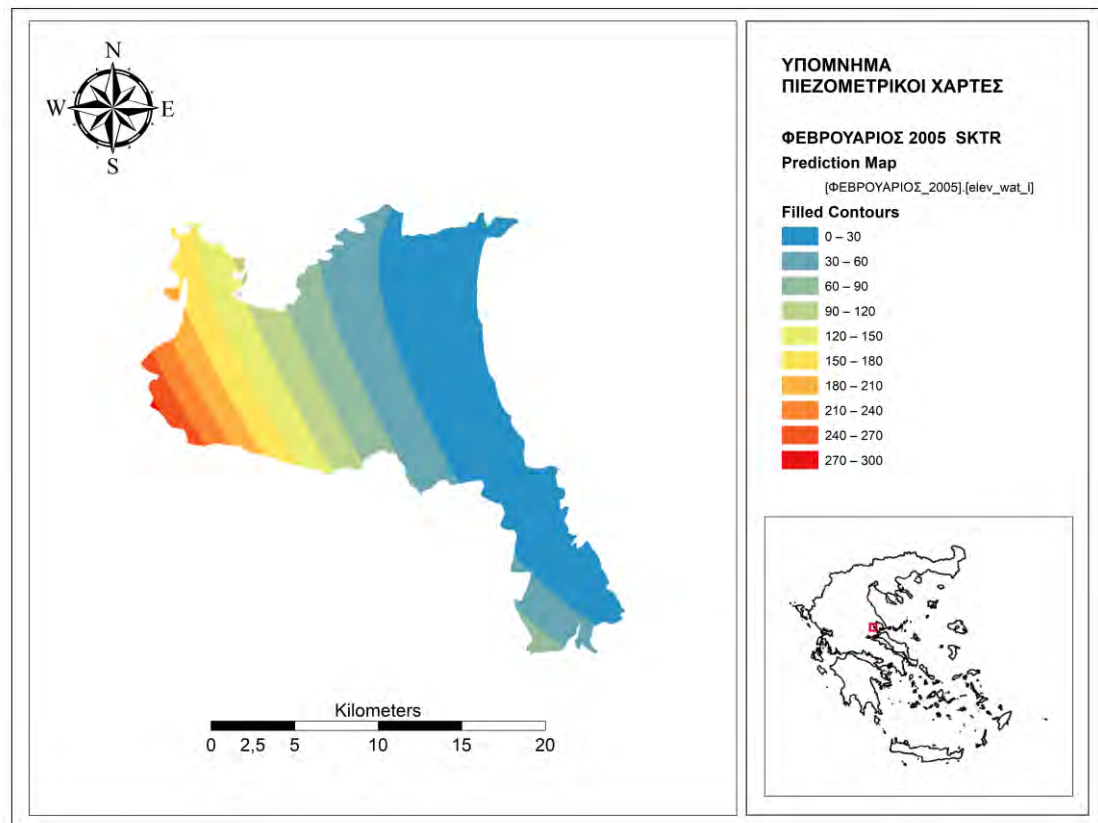
Εικόνα 40: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 RBS



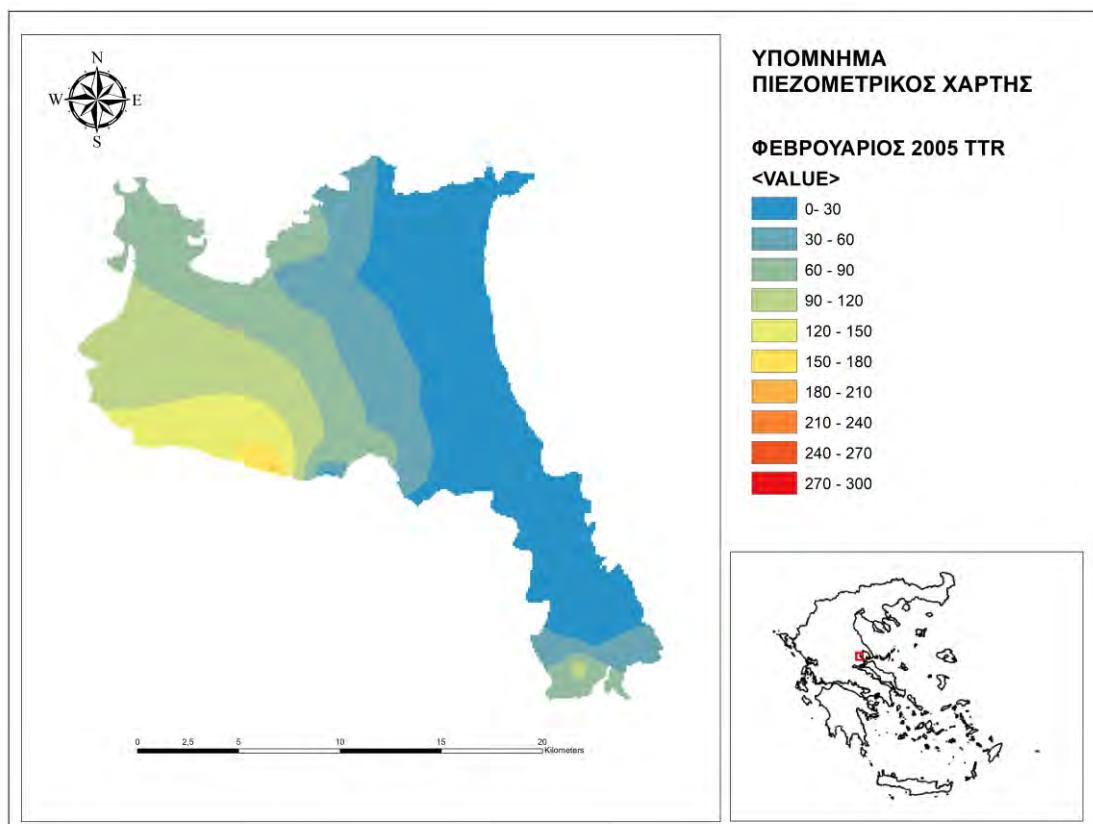
Εικόνα 41: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 42: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 43: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Simple Kriging Trent Remove



Εικόνα 44: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2005 Topo to Raster

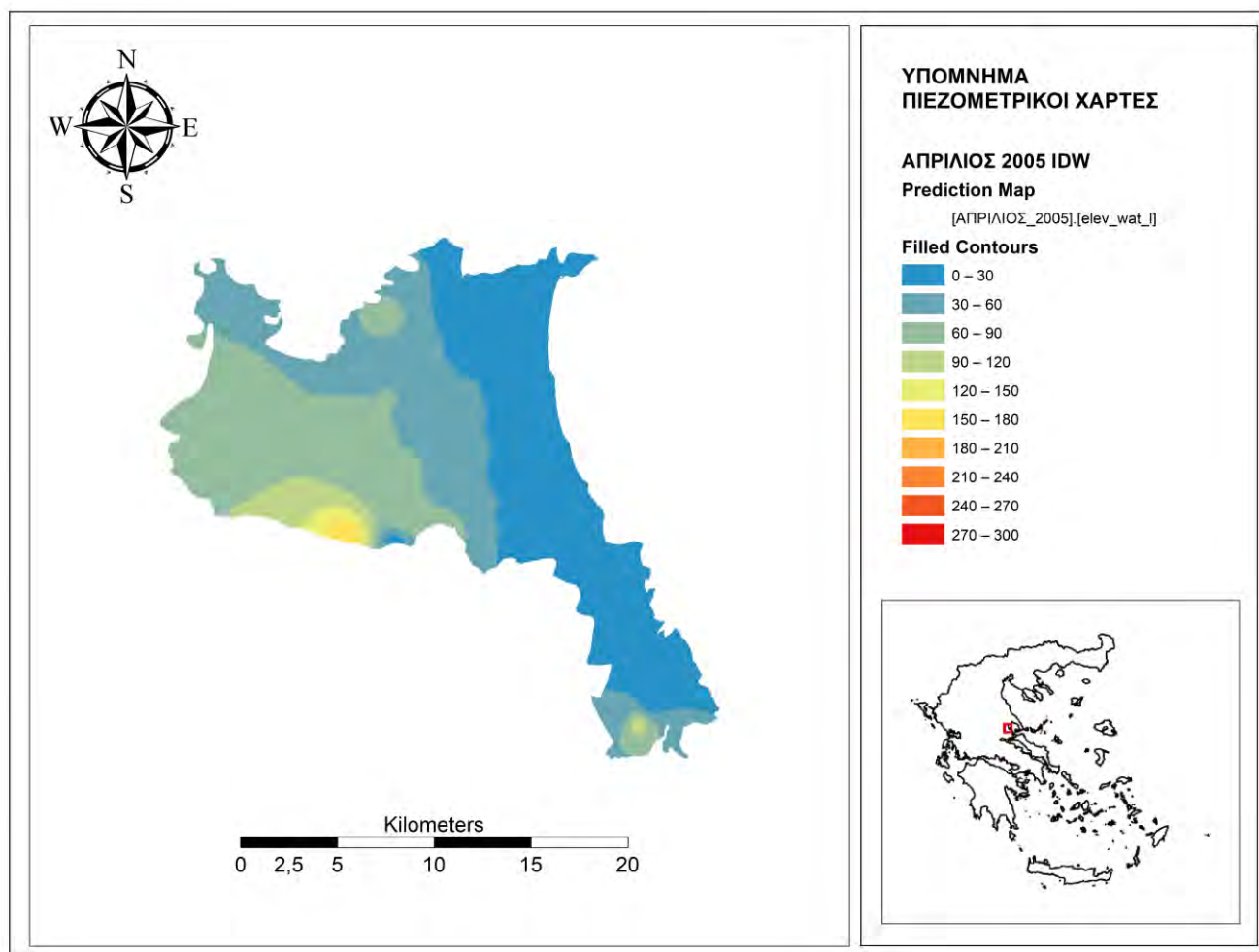
Διπλωματική Εργασία

Φεβρουάριος 2005	IDW	RBS	OK	SK	TOPO TO RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-2,03	-1,87	-1,34	-1,5	1,1	-0,65
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	33,28	32,68	33,01	30,75	14,78	30,62
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	24,32	25,31	9,9	15,95
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,02	-0,04	-	-0,02
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,24	0,065	-	1,81

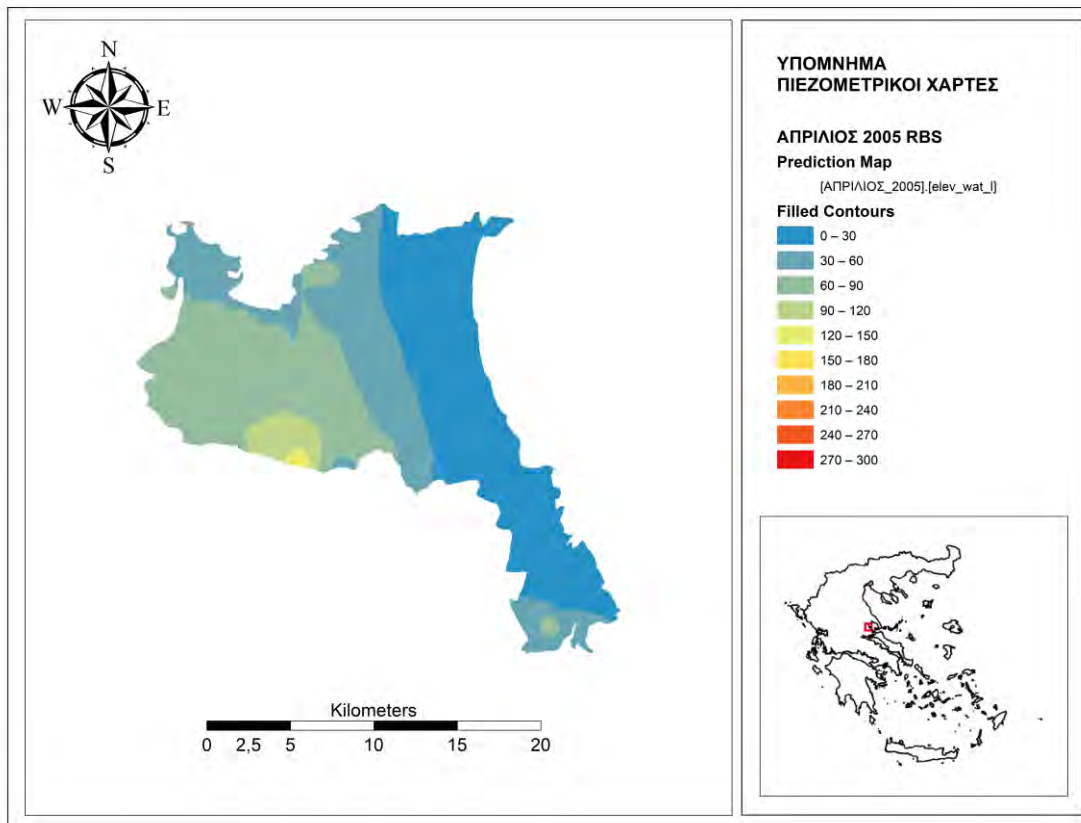
Πίνακας 1: Σφάλματα Φεβρουάριος 2005

Από τους χάρτες που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου στο ανατολικό κομμάτι του υδροφορέα όπου και κυμαίνεται από 0-30 m. Στα δυτικά τμήματα του υδροφορέα παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές υδραυλικού φορτίου. Η μέθοδοι IDW, RBS δεν προσεγγίζουν με ακρίβεια τις μέγιστες τιμές στο δυτικό κομμάτι σε σχέση με τις μεθόδους kriging που παρουσιάζουν και μικρότερα σφάλματα και πιο ομαλές επιφάνειες. Η μέθοδος Topo To Raster έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς προσφέρει μια ομαλή επιφάνεια με μικρά στατιστικά σφάλματα.

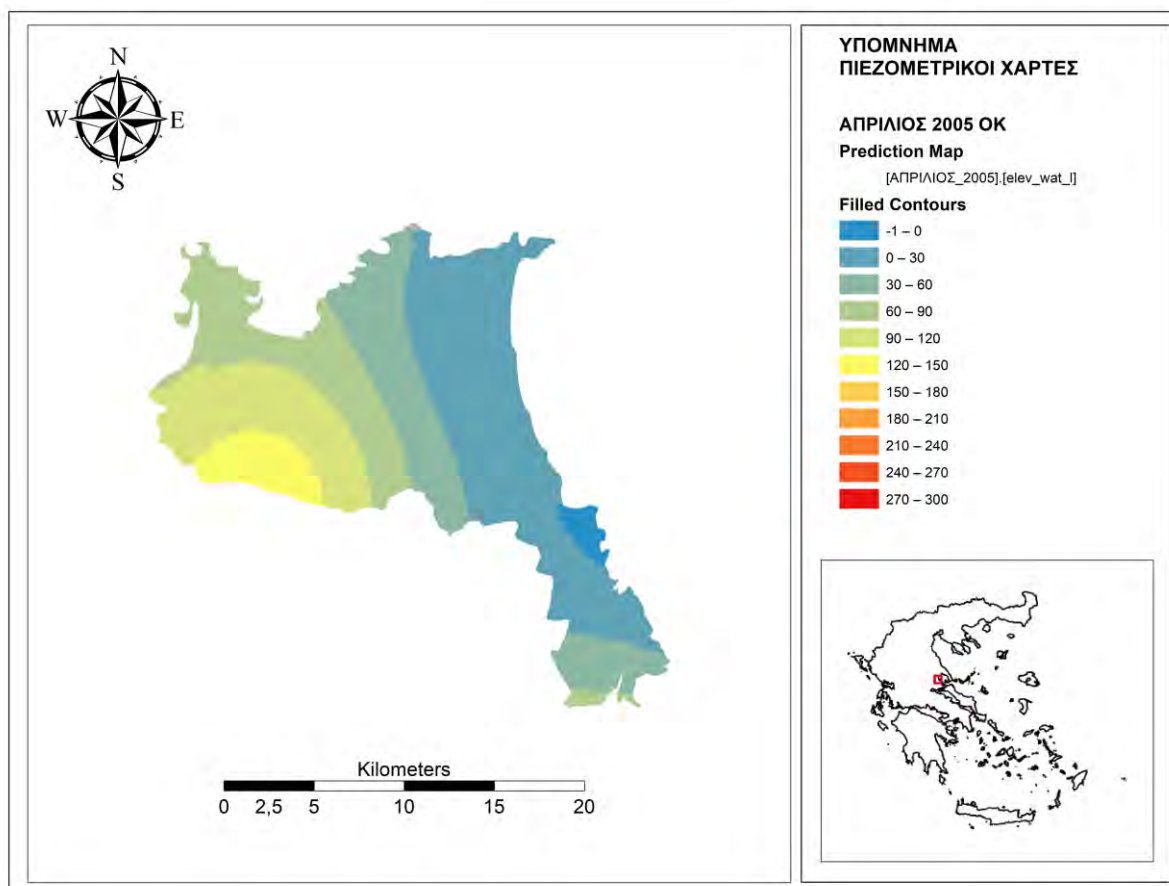
➤ Απρίλιος



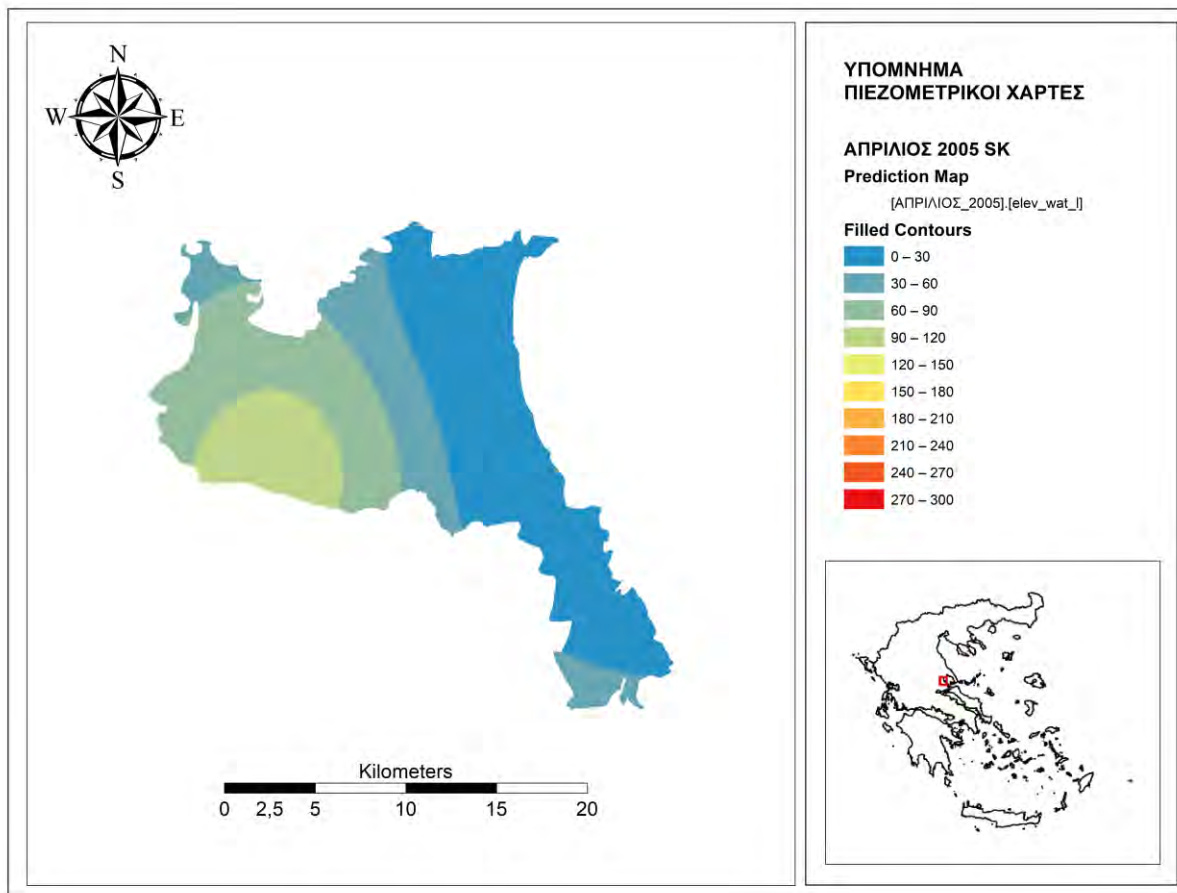
Εικόνα 45: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 IDW



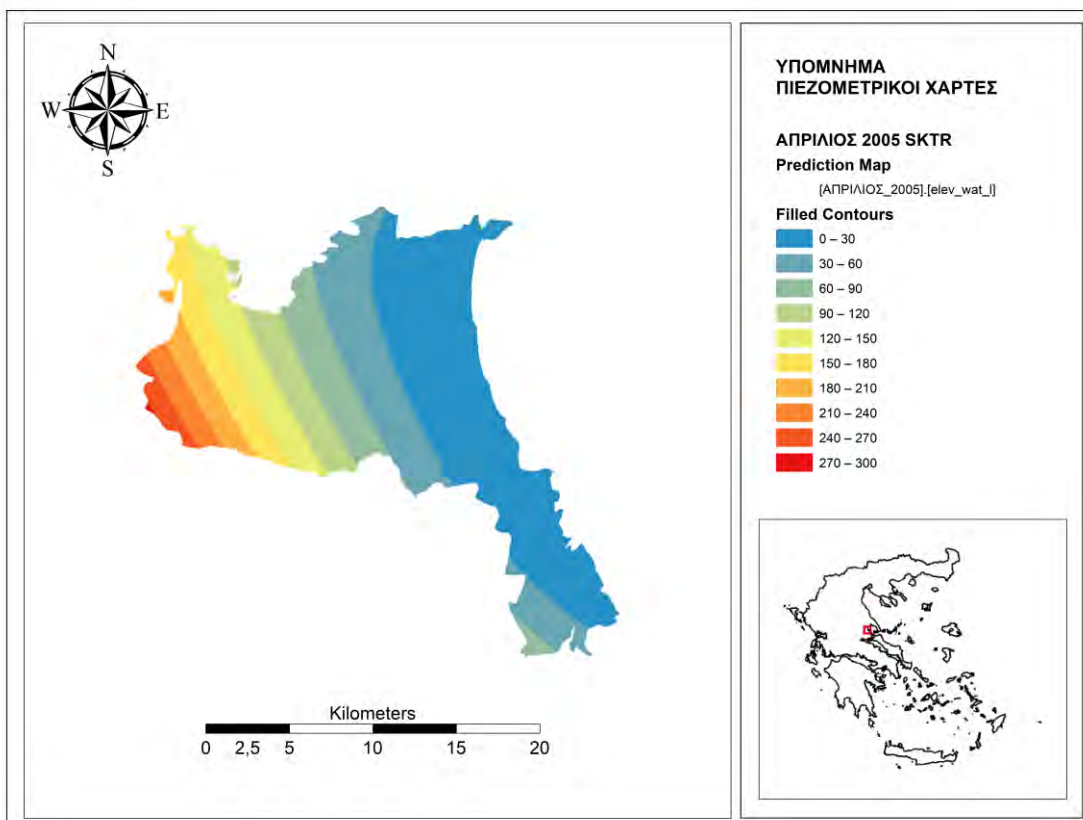
Εικόνα 46:
Πιεζομετρικός
χάρτης
Απρίλιος 2005
RBS



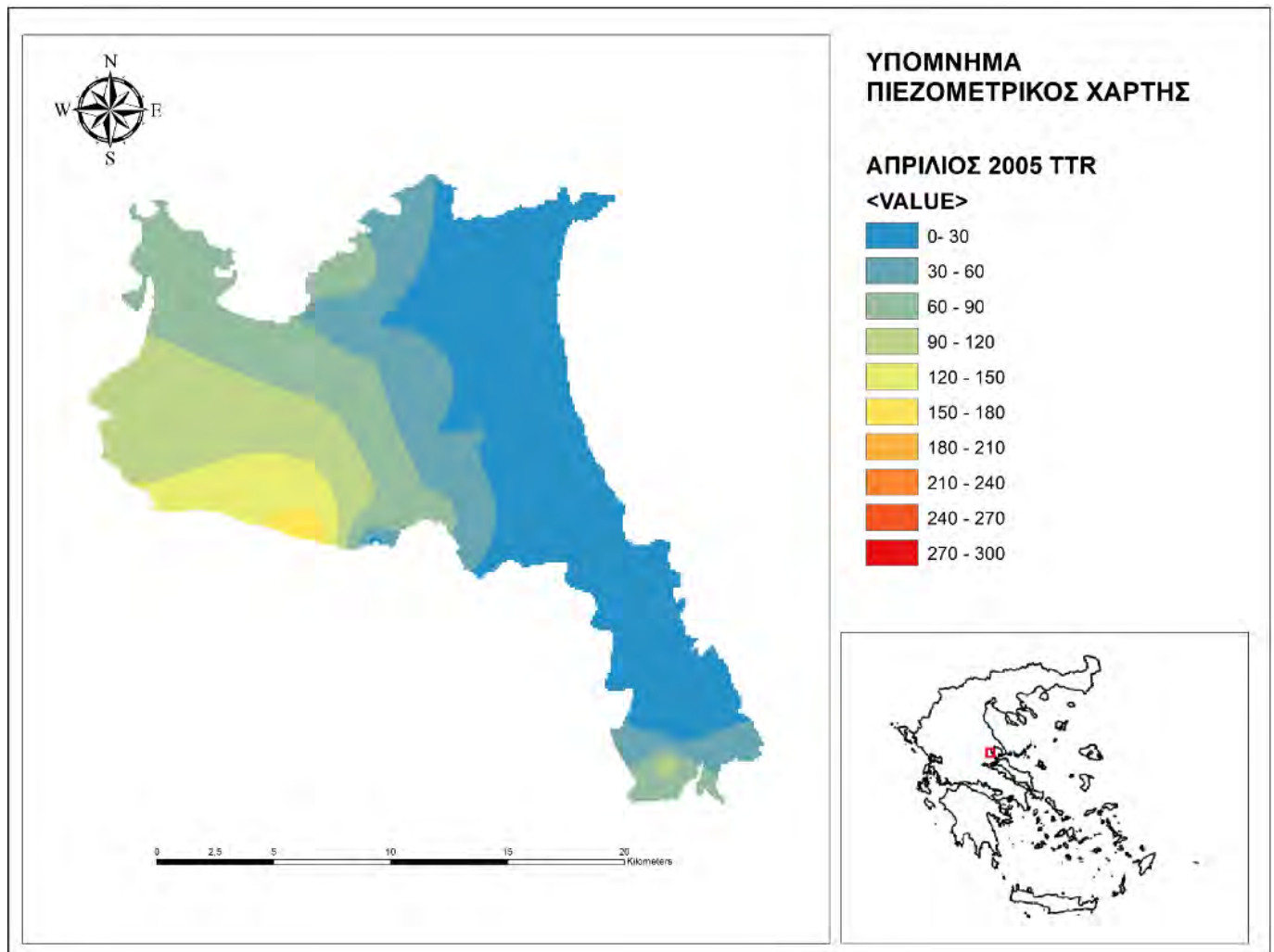
Εικόνα 47: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 48: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 49:
Πιεζομετρικός
χάρτης
Απρίλιος 2005
Simple Kriging
Trend
Remove



Εικόνα 50: Πιεζομετρικός χάρτης Απρίλιος 2005 Topo to Raster

Πίνακας 2: Σφάλματα Απρίλιος 2005

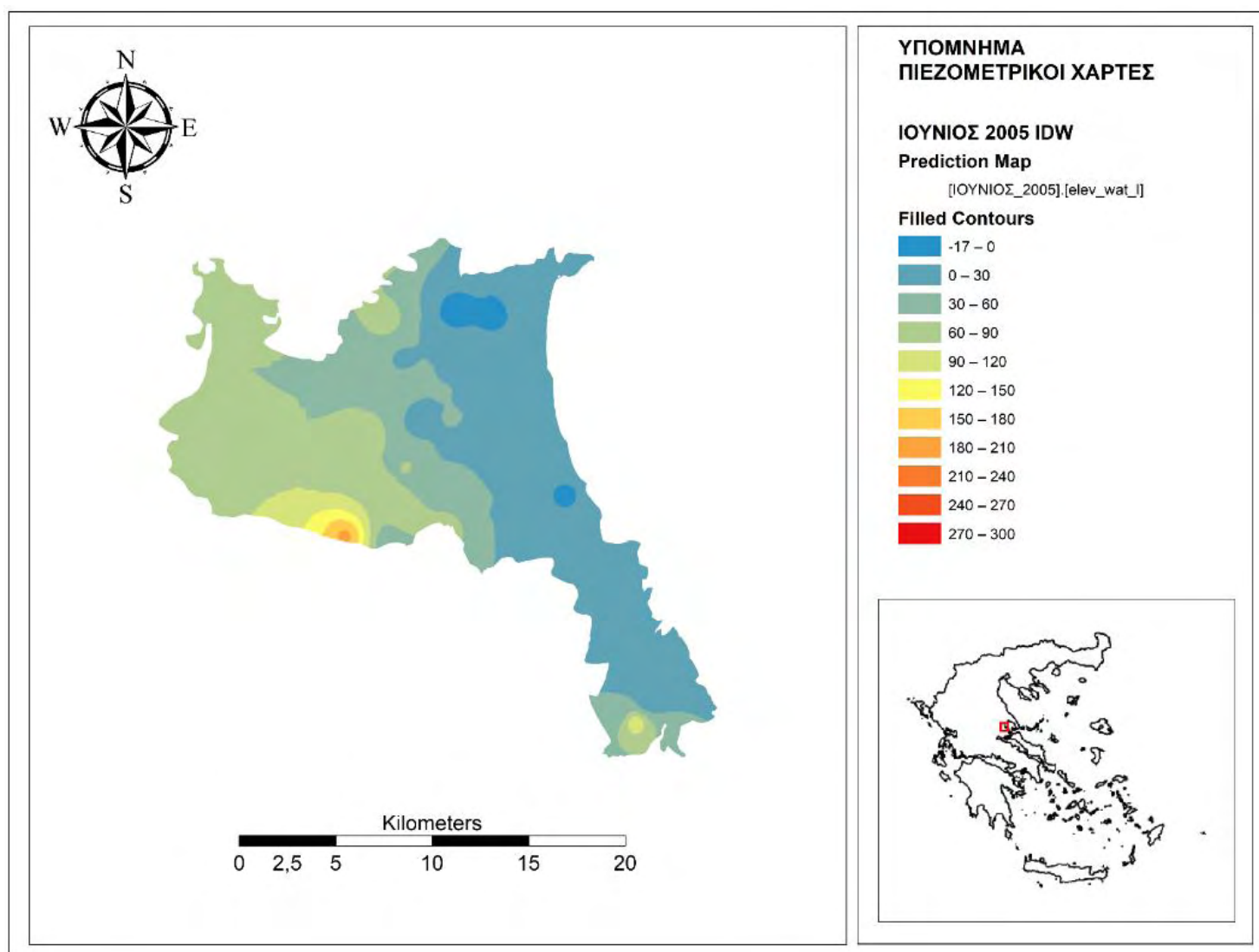
Απρίλιος 2005	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΡΟ ΤΟ ΡΑΣΤΕΡ	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-1,98	-1,73	-1,12	-1,81	1,4	-0,35
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	33,46	33,11	32,88	31,55	13,51	30,65
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	24,73	25,44	8,7	16,54
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,02	-0,06	-	0,005
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,22	1,049	-	1,75

Από τους χάρτες που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου στο ανατολικό κομμάτι του υδροφορέα όπου και κυμαίνεται από 0-30 m. Στα δυτικά τμήματα του υδροφορέα παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές υδραυλικού φορτίου. Οι

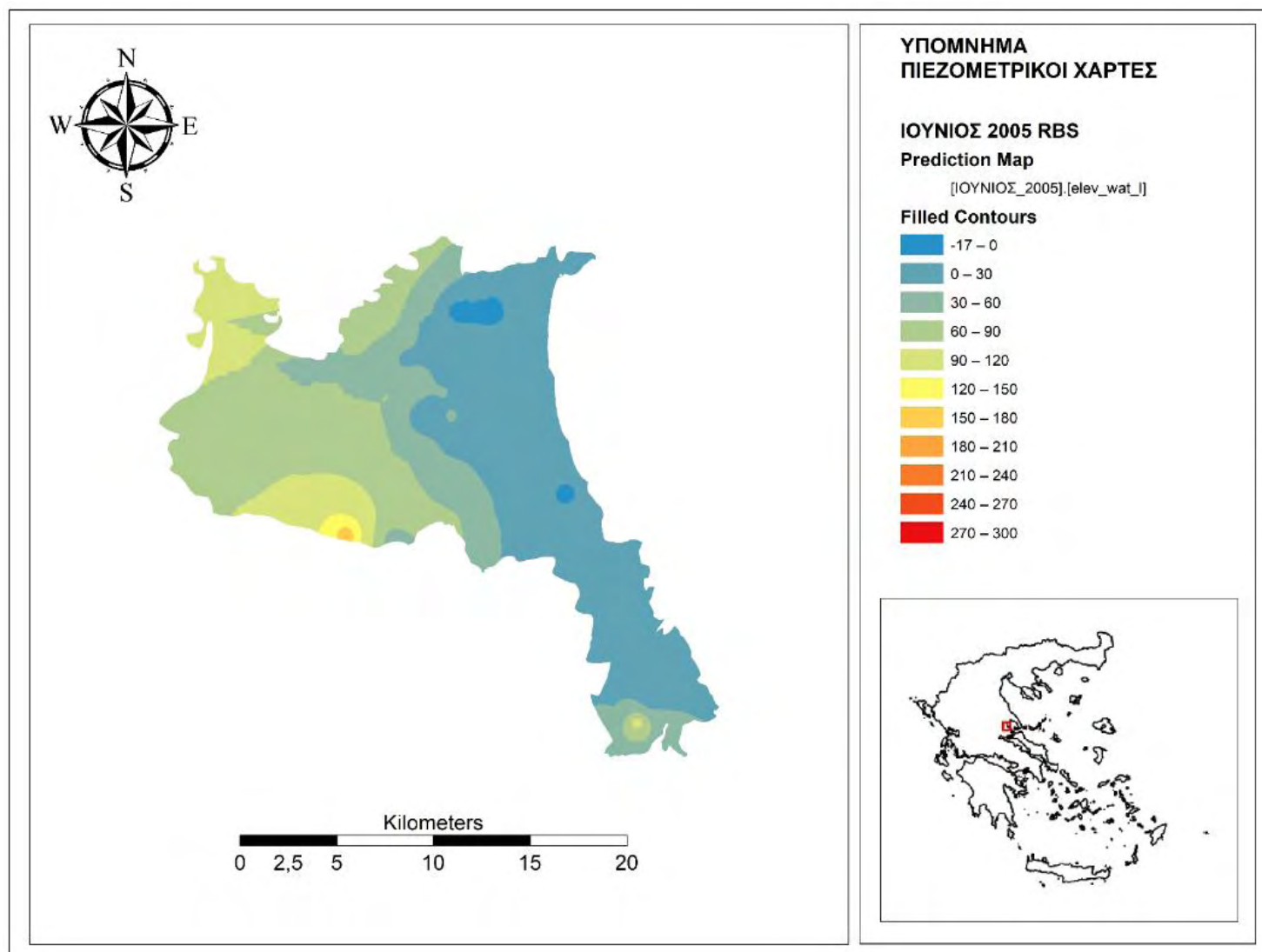
Διπλωματική Εργασία

μέθοδοι IDW, RBS δεν προσεγγίζουν με ακρίβεια τις μέγιστες τιμές στο δυτικό κομμάτι σε σχέση με τις μεθόδους kriging που παρουσιάζουν και μικρότερα σφάλματα και πιο ομαλές επιφάνειες. Η μέθοδος Topo To Raster έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς προσφέρει μια ομαλή επιφάνεια με μικρά στατιστικά σφάλματα.

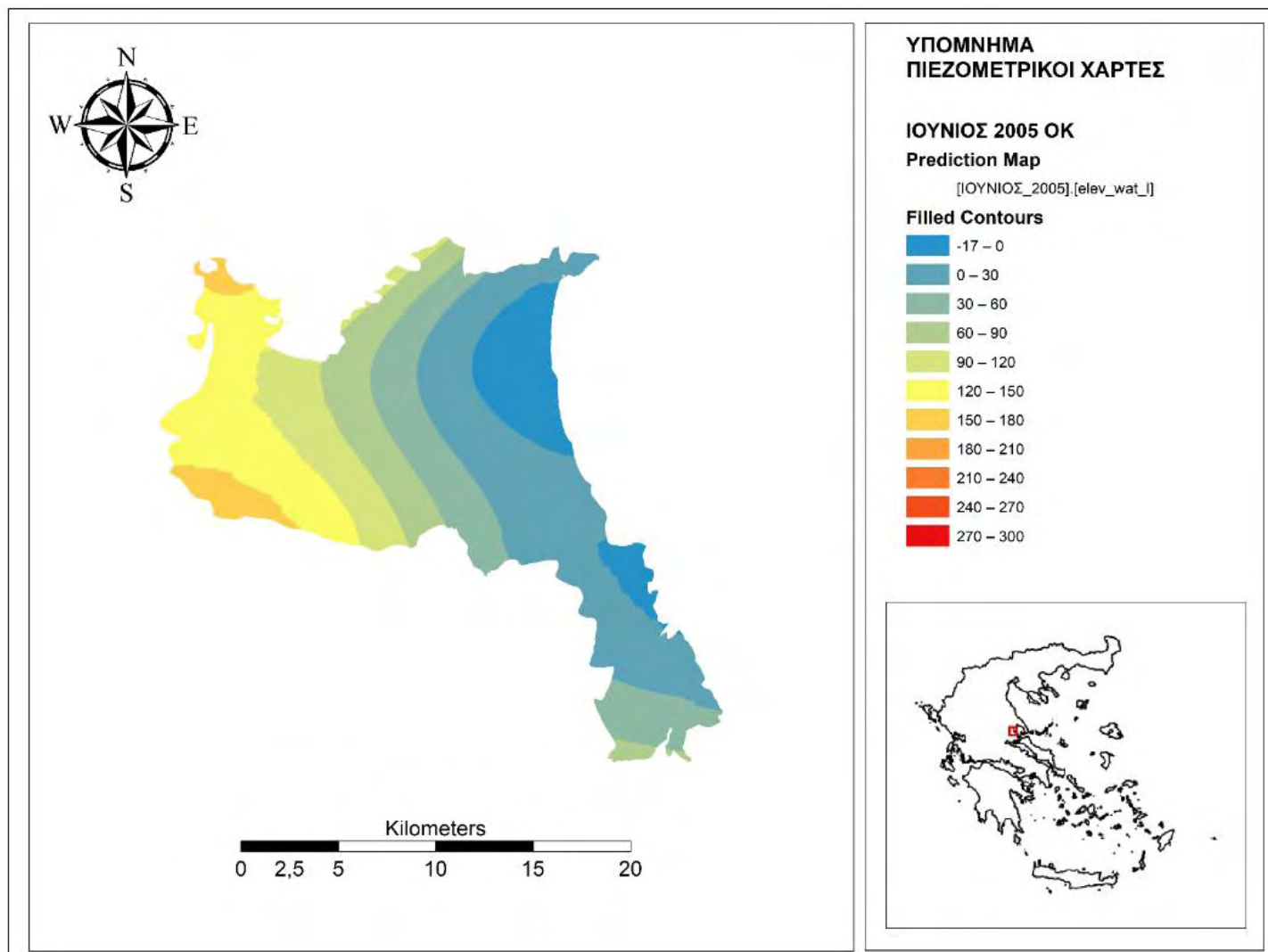
➤ Ιούνιος



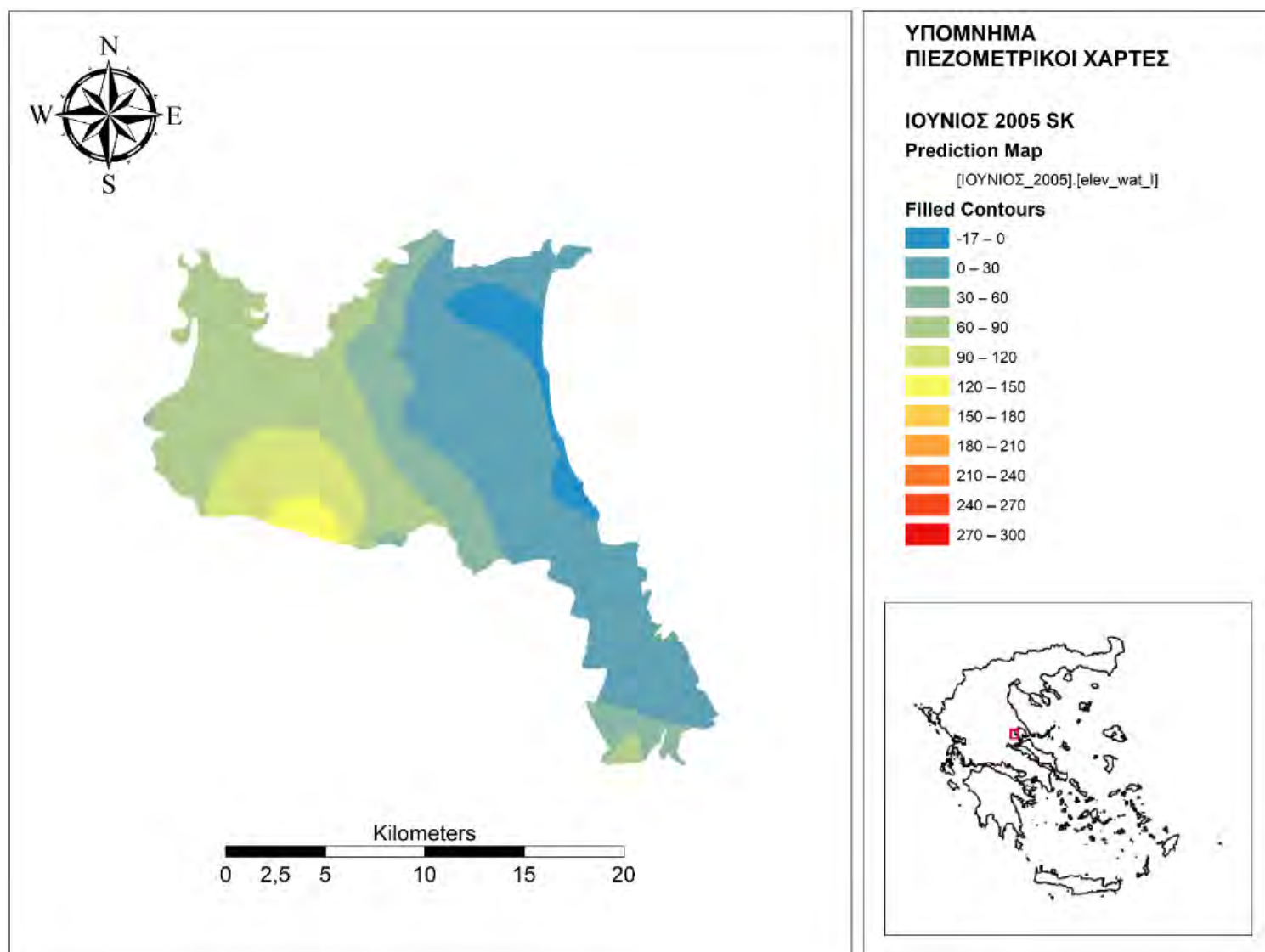
Εικόνα 51: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2005 IDW



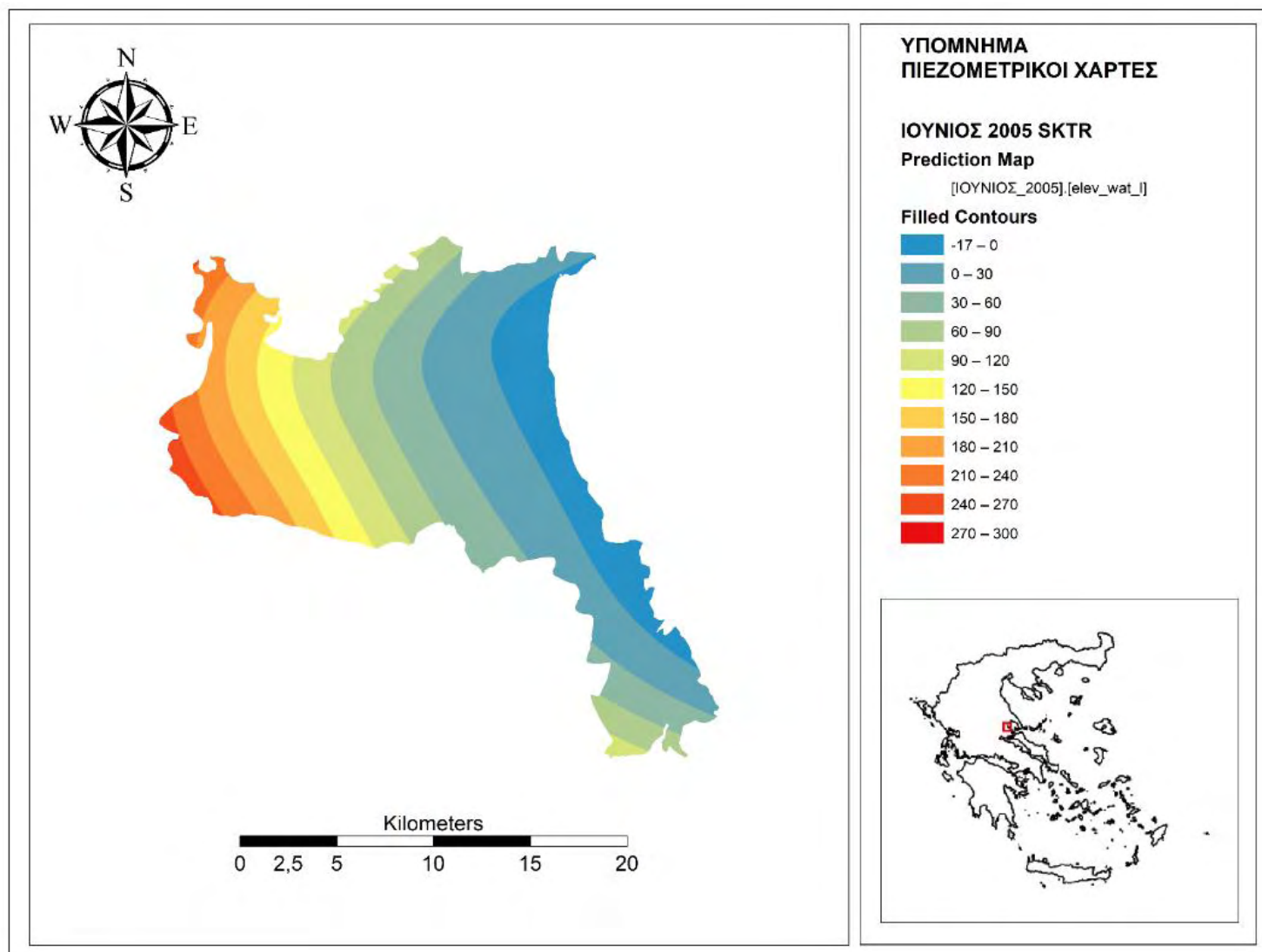
Εικόνα 52: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 RBS



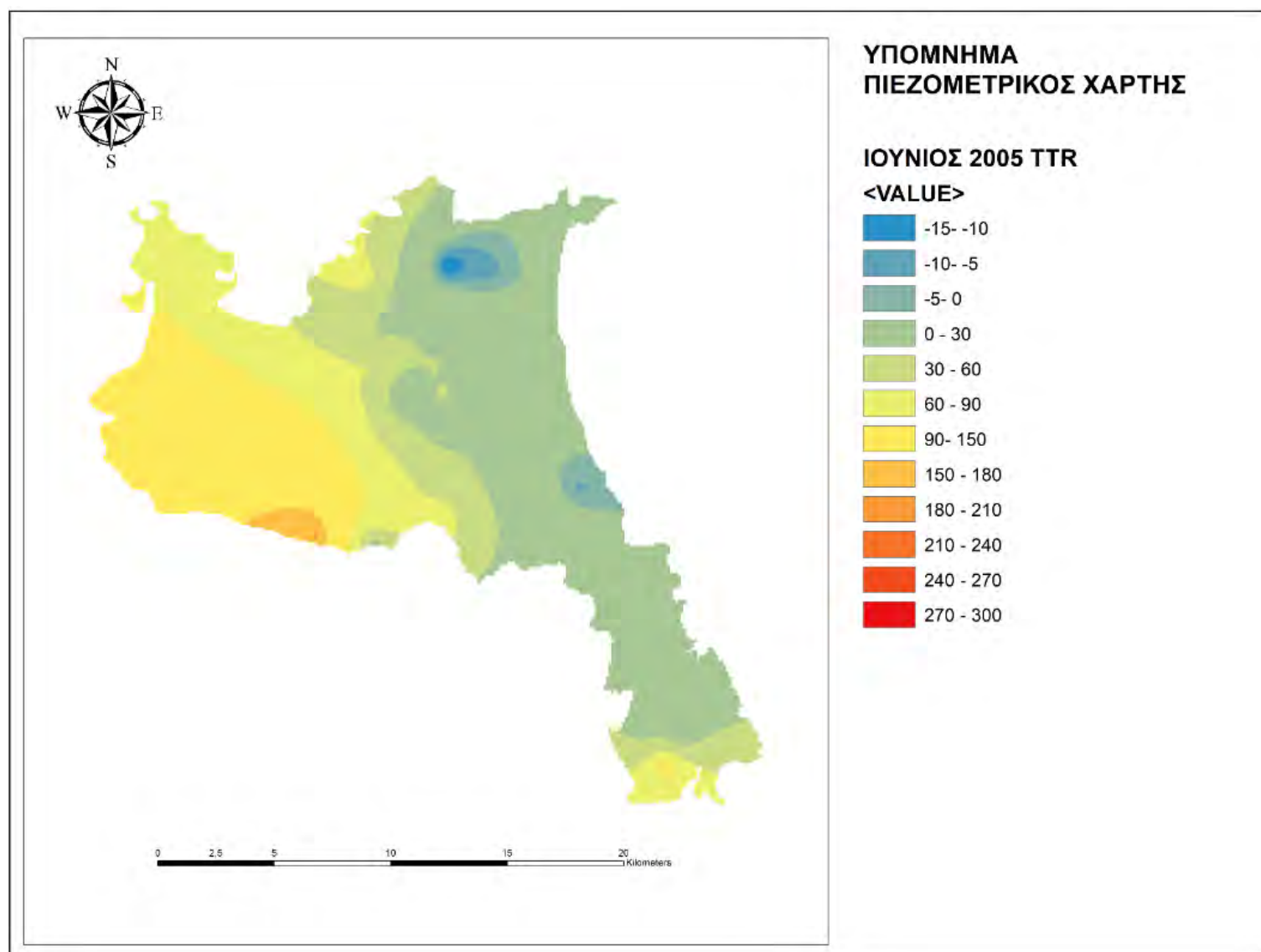
Εικόνα 53: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 54: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 55: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Simple Kriging Trend Remove



Εικόνα 56: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2005 Topo to Raster

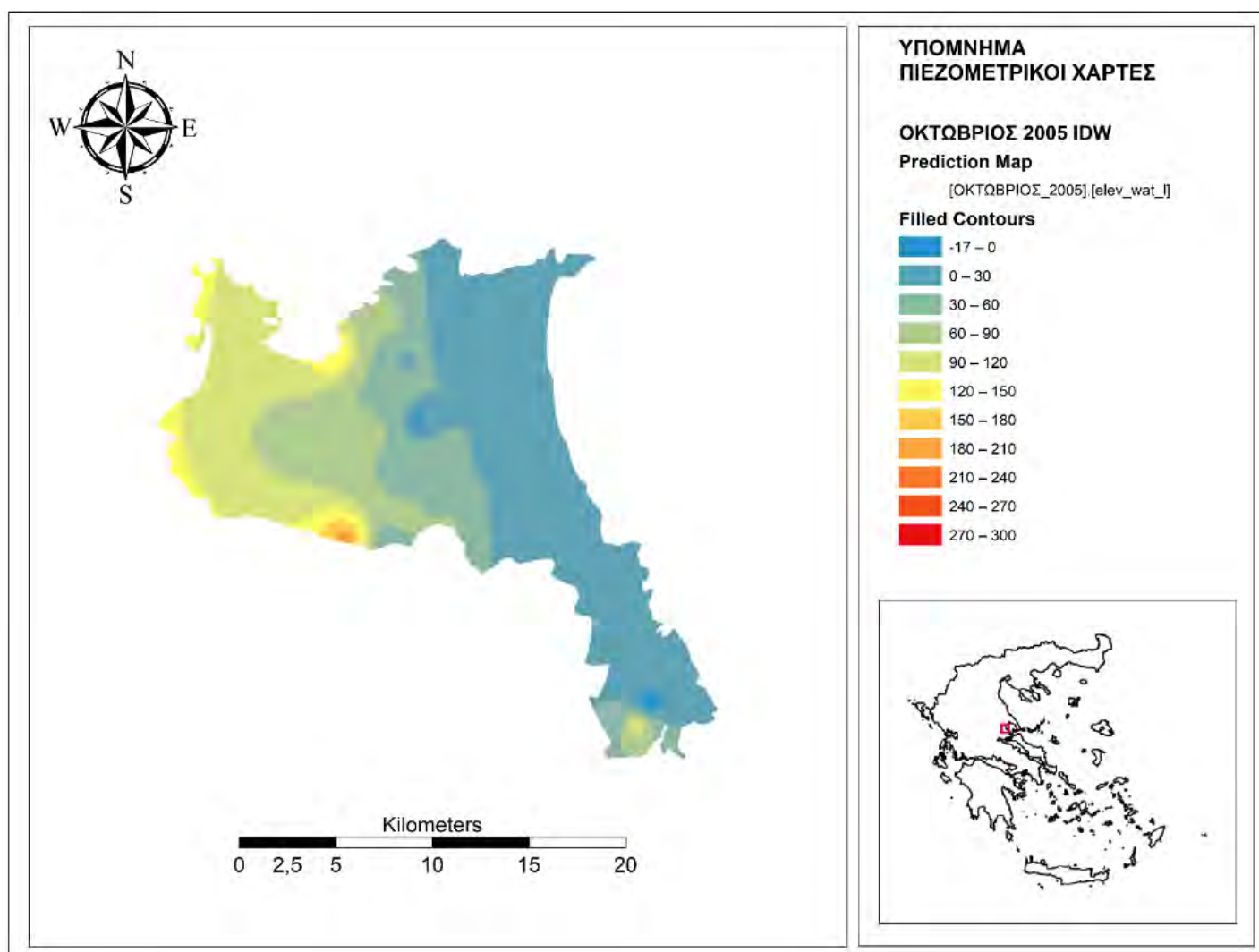
Ιούνιος 2005	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-7	-5,27	-3,78	-6,32	1,4	-4,21
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	47,42	46,8	43,91	47,3	16,14	45,07
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	25,66	28,03	8,5	22,25
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,05	-0,18	-	-0,11
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,22	1,31	-	1,77

Πίνακας 3: ΣΦφάλματα Ιούνιος 2005

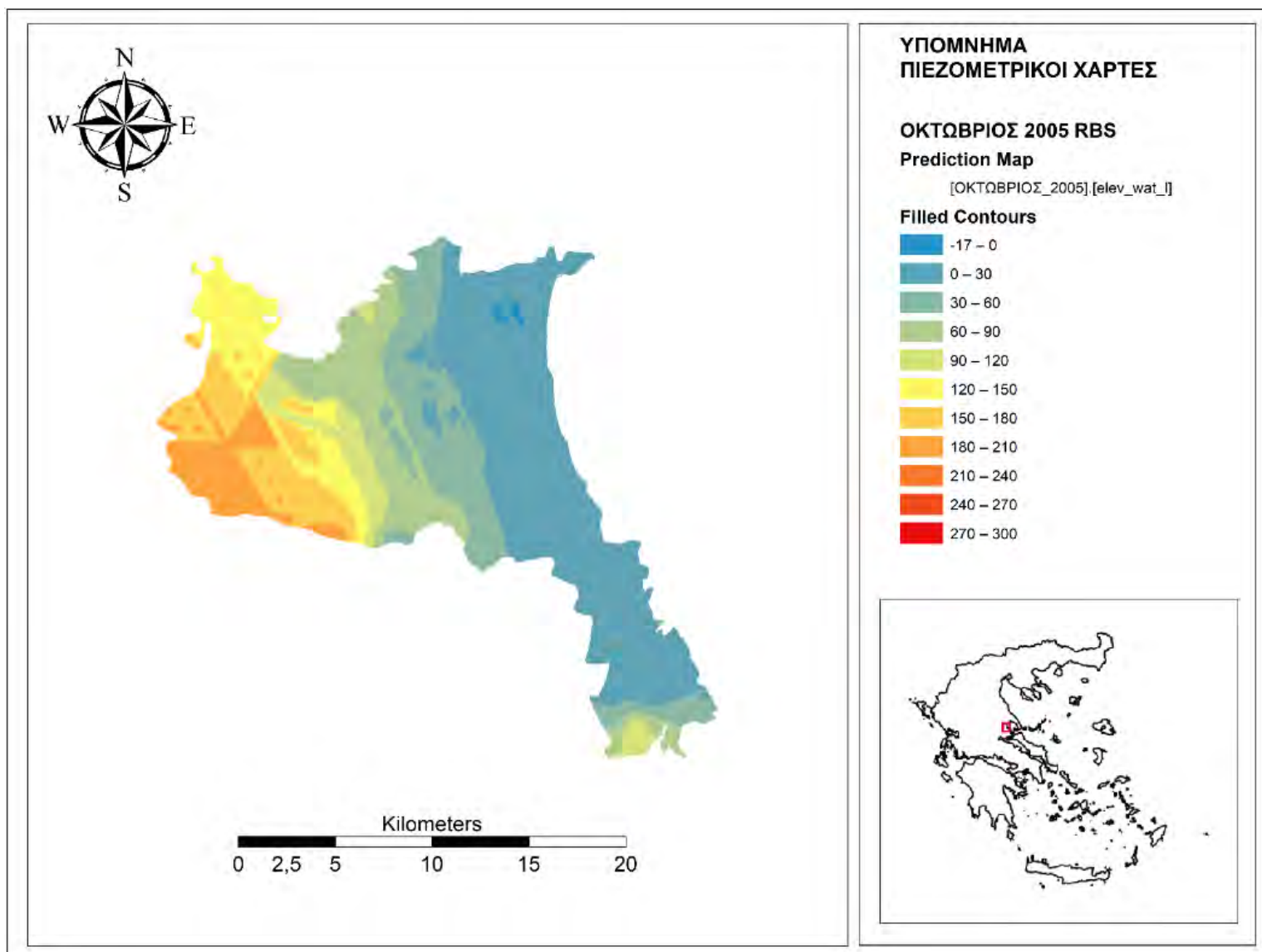
Διπλωματική Εργασία

Από τους χάρτες που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου στο ανατολικό κομμάτι του υδροφορέα όπου πλησιάζει τα -17m. Στα δυτικά τμήματα του υδροφορέα παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές στάθμης. Οι μέθοδοι IDW, RBS δεν προσεγγίζουν με ακρίβεια τις μέγιστες τιμές στο δυτικό κομμάτι σε σχέση με τις μεθόδους kriging που παρουσιάζουν και μικρότερα σφάλματα και πιο ομαλές επιφάνειες. Η μέθοδος Topo To Raster έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς προσφέρει μια ομαλή επιφάνεια με μικρά στατιστικά σφάλματα. Οι αρνητικές τιμές του πιεζομετρικού φορτίου που εμφανίζονται στα παράκτια τμήματα της περιοχής μελέτης, συνδέονται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφορέα αλλά και με υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων σε αυτά τα τμήματα όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

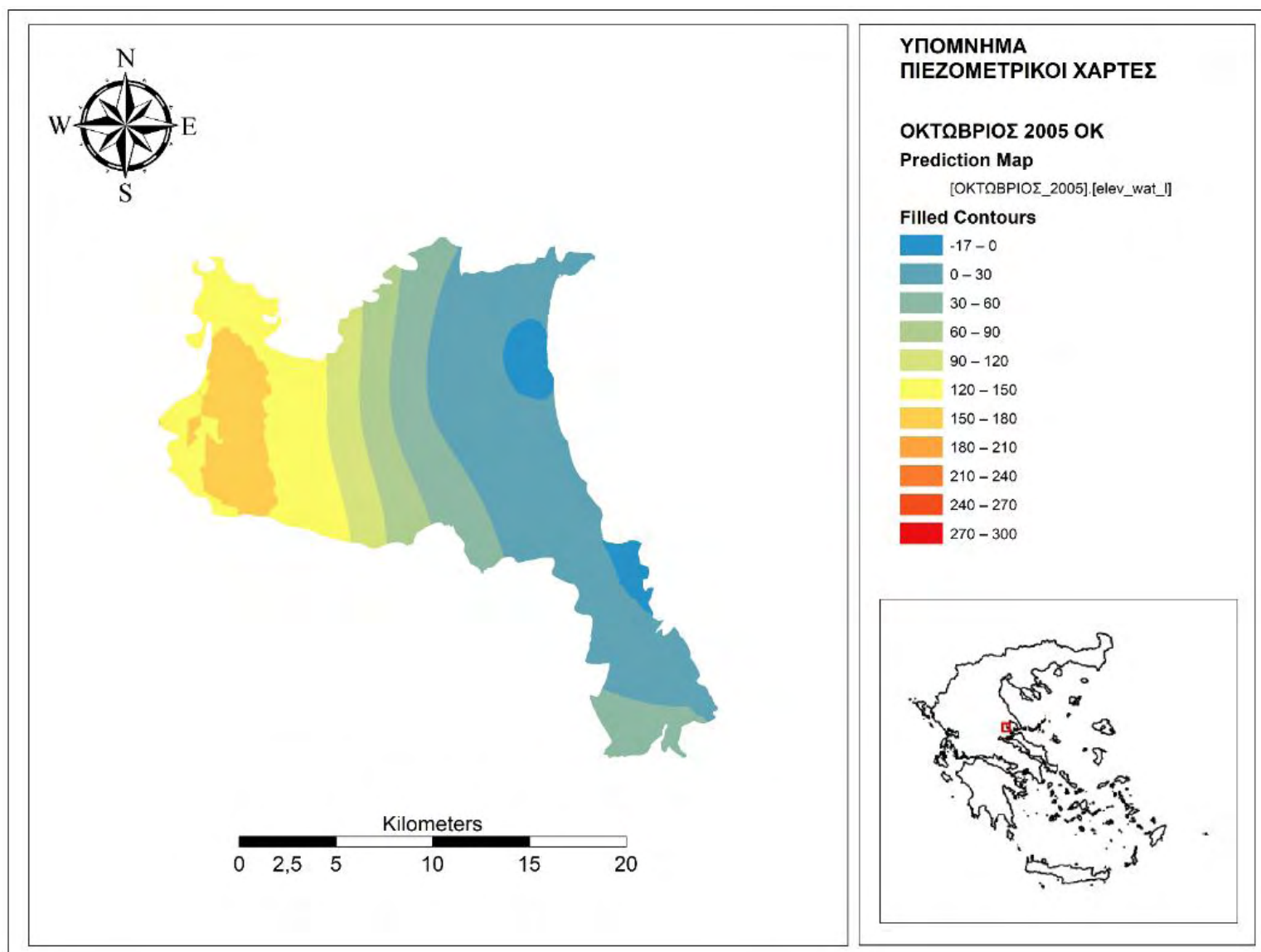
➤ Οκτώβριος



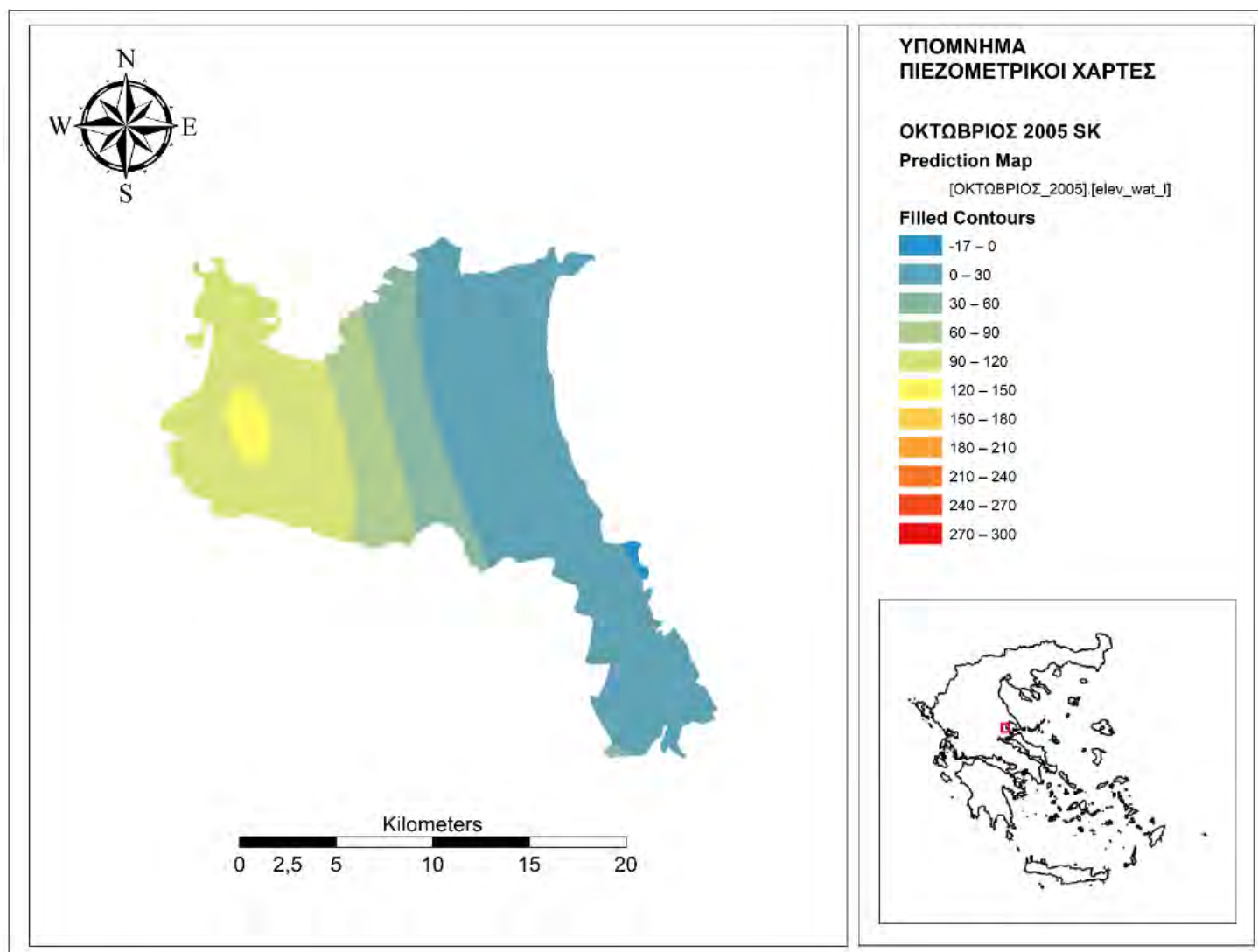
Εικόνα 57: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 IDW



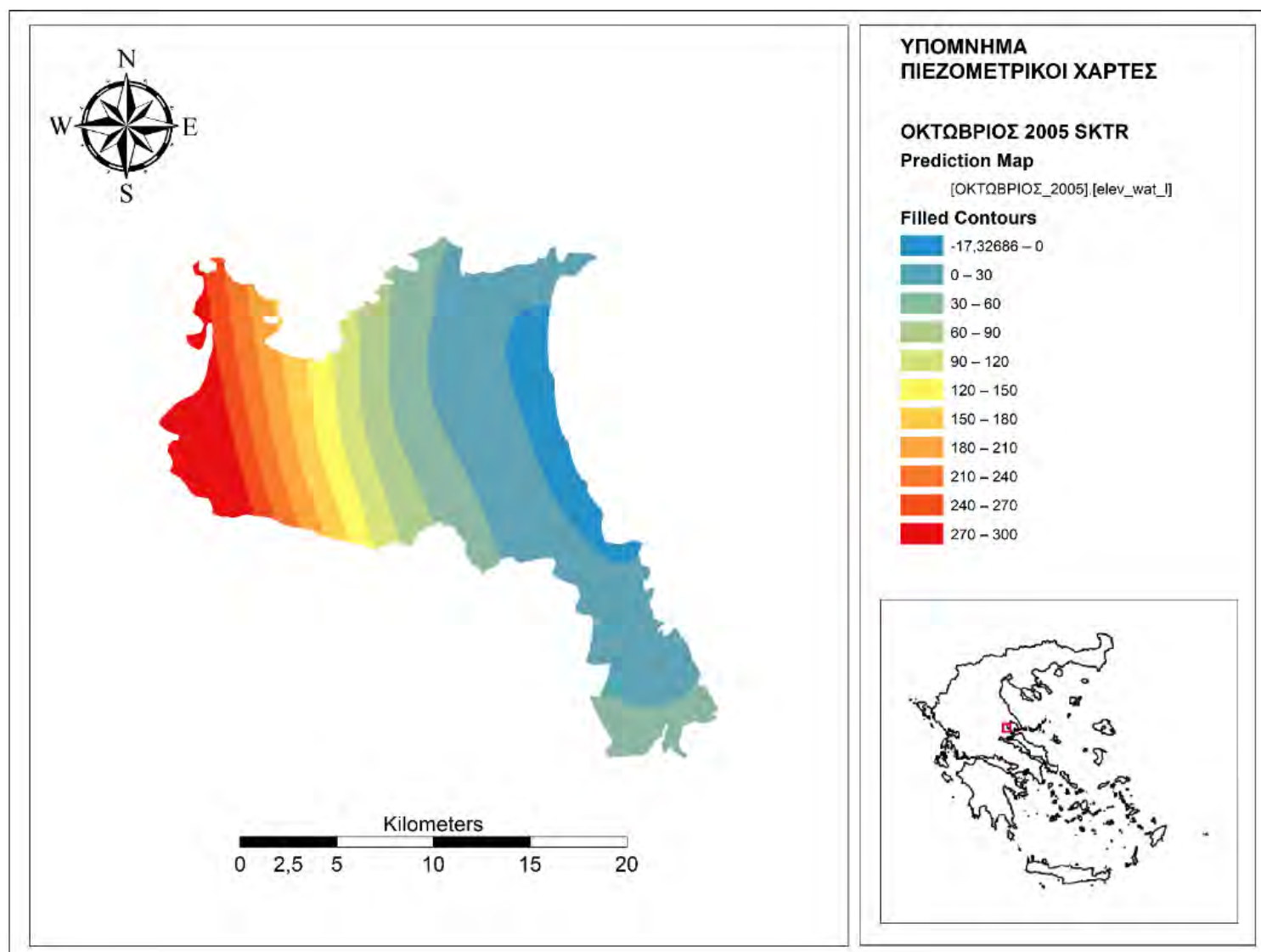
Εικόνα 58: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 RBS



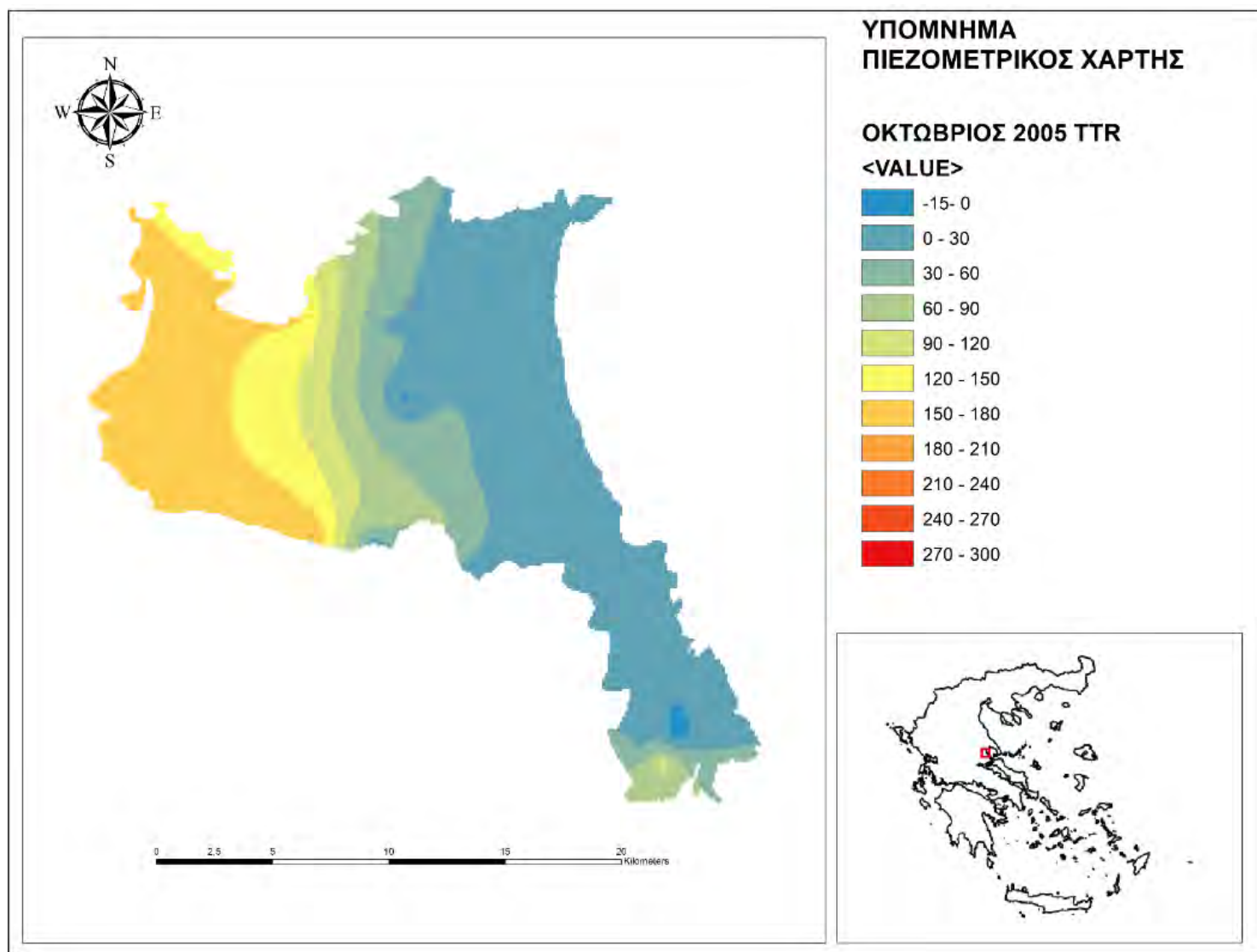
Εικόνα 59: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 60: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 61: Πιεζομετρικός Χάρτης Οκτώβριος 2005 Simple Kriging Trend Remove



Εικόνα 62: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2005 Topo to Raster

Οκτώβριος 2005	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΡΟ ΤΟ RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-4,5	-2,71	-2,09	-3,02	-1,2	-1,79
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	39,82	39,86	36,59	35,68	15,62	33,16
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	28,8	30,64	9,1	24,33
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,03	0,078	-	-0,06
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,17	1,03	-	1,37

Πίνακας 4: Σφάλματα Οκτώβριος 2005

Από τους χάρτες που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου στο ανατολικό κομμάτι του υδροφορέα όπου πλησιάζει τα -17m. Στα δυτικά τμήματα του υδροφορέα παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές στάθμης. Η μέθοδοι IDW, RBS δεν προσεγγίζουν με ακρίβεια τις μέγιστες τιμές στο δυτικό κομμάτι σε σχέση με τις μεθόδους kriging που παρουσιάζουν και μικρότερα σφάλματα και πιο ομαλές επιφάνειες. Η μέθοδος Topo To Raster έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς προσφέρει μια ομαλή επιφάνεια με μικρά στατιστικά σφάλματα. Οι αρνητικές τιμές πιεζομετρικού φορτίου που εμφανίζονται στα παράκτια τμήματα της περιοχής μελέτης, συνδέονται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφορέα αλλά και με υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων σε αυτά τα τμήματα όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Για τα επόμενα χρόνια οι χάρτες παρουσιάζουν παρεμφερή αποτελέσματα για αυτό το λόγο παρουσιάζονται στο παράρτημα.

6.1.3 Σχολιασμός στατιστικών κριτηρίων των χαρτών

Εξετάζοντας τις τιμές των στατιστικών δεικτών από τους πίνακες με τους στατιστικούς δείκτες παρατηρούμε ότι οι τιμές τους βρίσκονται εντός κάποιων ορίων που έχουν οριστεί την επαλήθευση των μεθόδων (δηλαδή το μέσο σφάλμα, η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, το σταθερό σφάλμα, το μέσο τυποποιημένο σφάλμα να έχουν τη μικρότερη δυνατή τιμή με το ιδανικό ενδεχόμενο τα σφάλματα να έχουν μηδενική τιμή, η μέση τυποποιημένη ρίζα του τετραγωνικού σφάλματος να είναι κοντά στη μονάδα, η τιμή της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος να μην έχει μεγάλη απόκλιση με την τιμή του σταθερού σφάλματος). Παρατηρούμε ότι οι μέθοδοι Simple Kriging Trend Remove, Topo to Raster έχουν καλύτερες τιμές στατιστικών δεικτών από τις υπόλοιπες. Το μέσο σφάλμα και το μέσο τυποποιημένο σφάλμα είναι αρκετά κοντά στο 0, η μέση τυποποιημένη ρίζα του τετραγωνικού σφάλματος είναι κοντά στη μονάδα. Ακόμη οι τιμές της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και του σταθερού σφάλματος αν και δεν πλησιάζουν την τιμή του μηδενός, δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, οπότε είναι αποδεκτές. Τέλος να αναφέρουμε ότι η τιμή του σταθερού σφάλματος είναι μικρότερη από την τιμή της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος που σημαίνει ότι οι προβλέψεις μας είναι υποτιμημένες. Αυτό το συμπέρασμα

Διπλωματική Εργασία

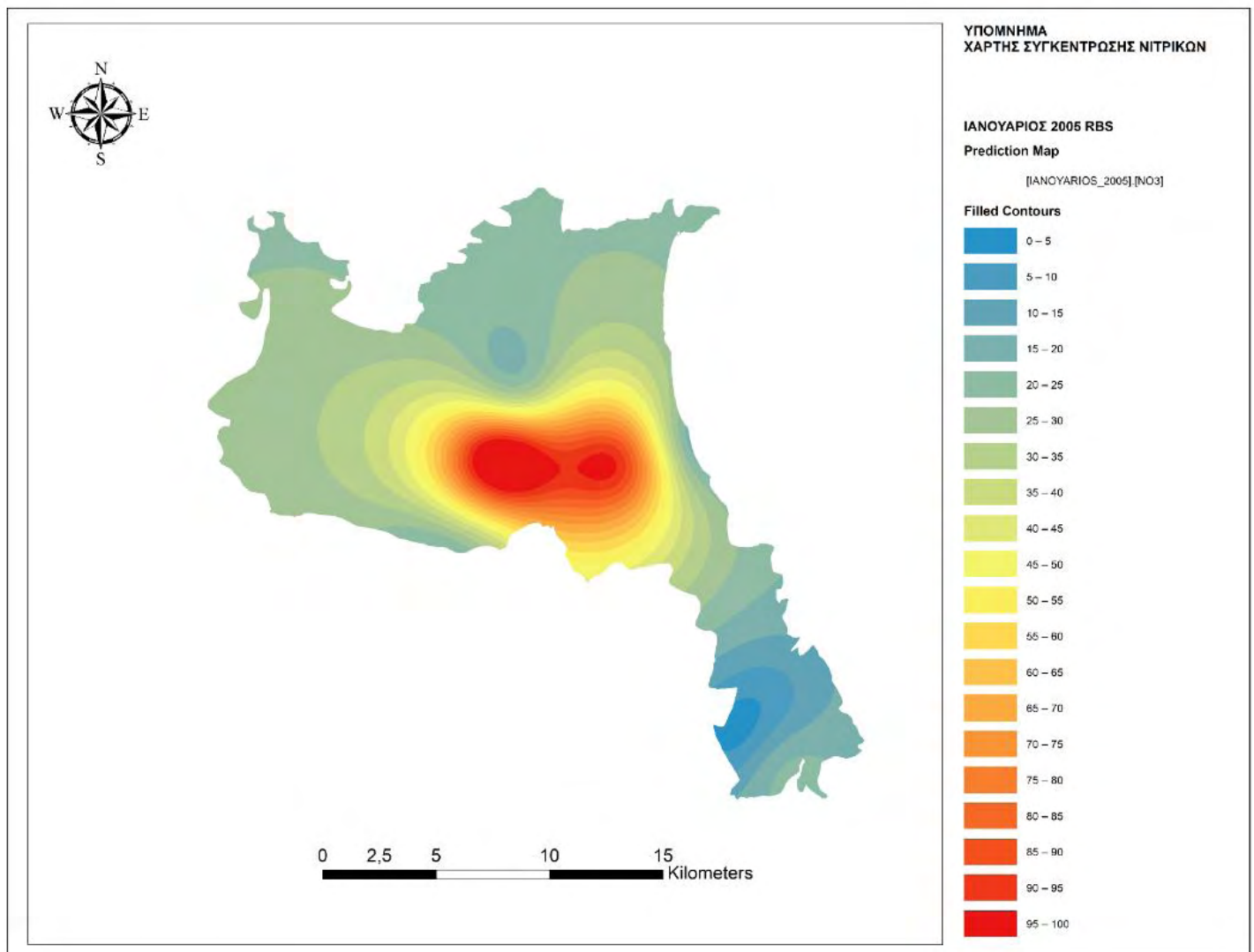
επαληθεύετε και από την τιμή της μέσης τυποποιημένης ρίζας του τετραγωνικού σφάλματος καθώς είναι μεγαλύτερη της μονάδος.

6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης Νιτρικών στον υπόγειο υδροφόρα

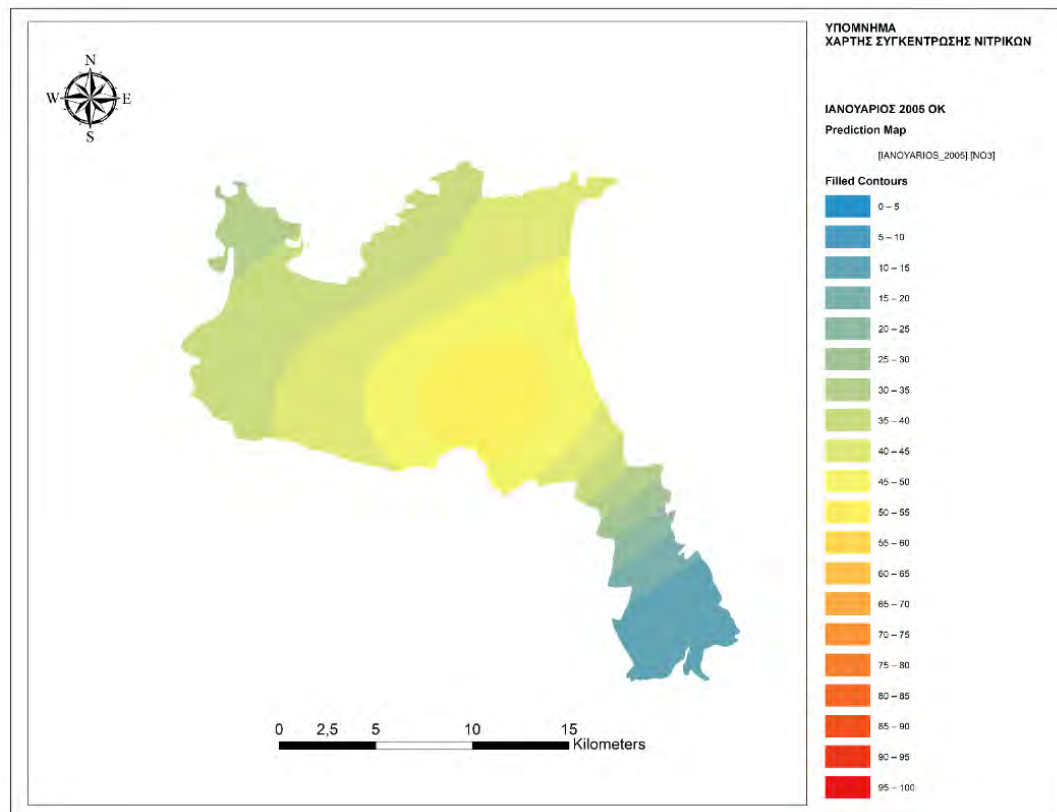
Η εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής για την αποτίμηση της συγκέντρωσης Νιτρικών στον υπόγειο υδροφόρα εφαρμόστηκε όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

2005

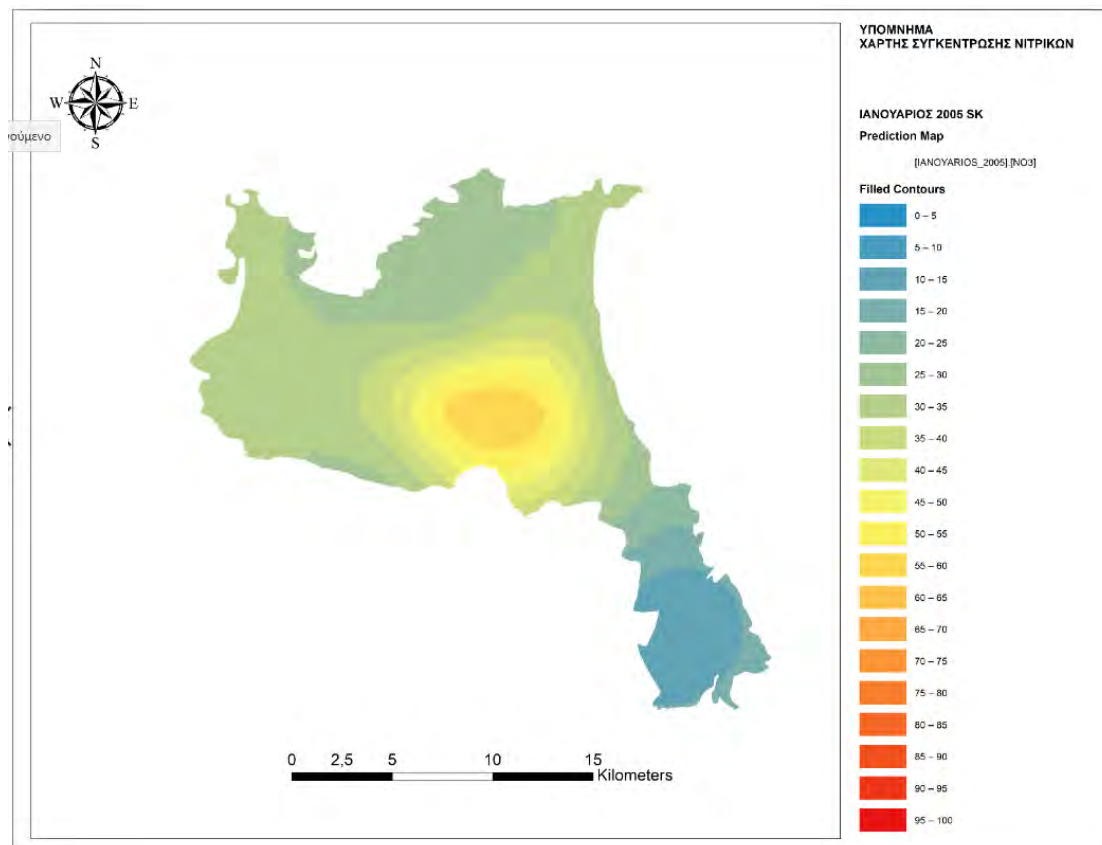
➤ Ιανουάριος



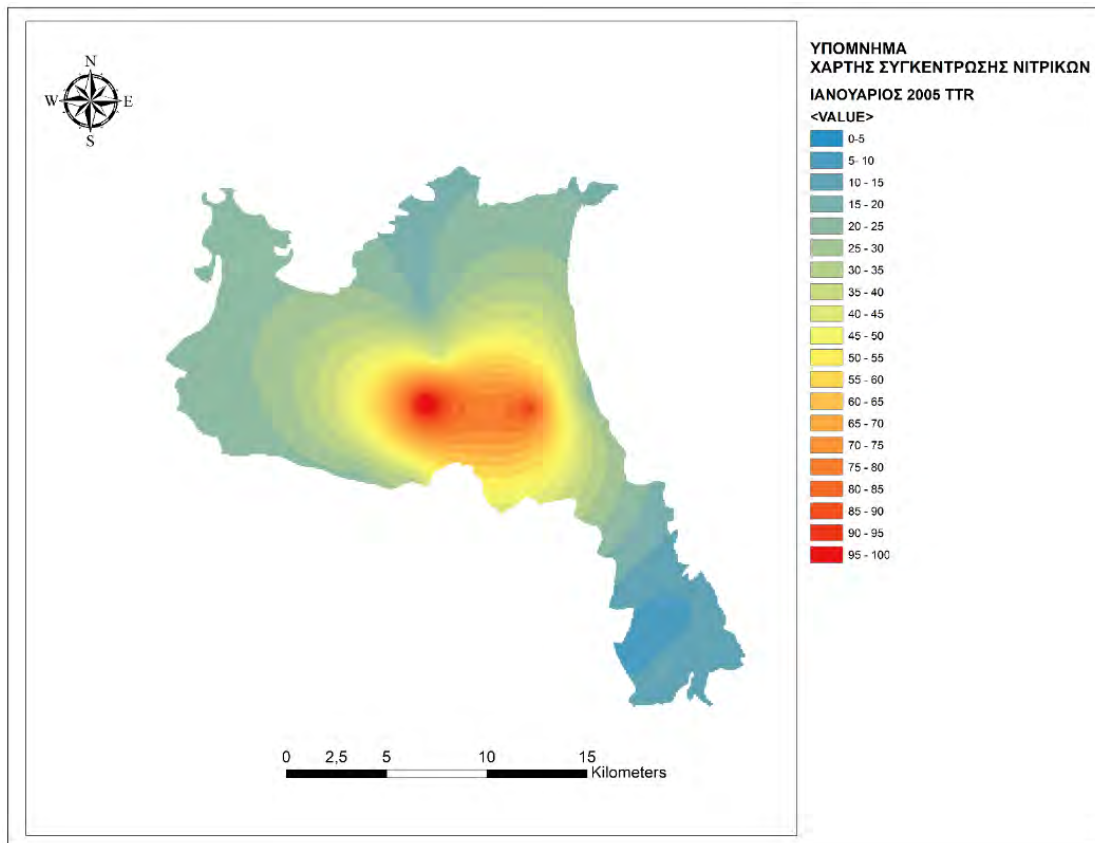
Εικόνα 63: Χάρτης Συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 RBS



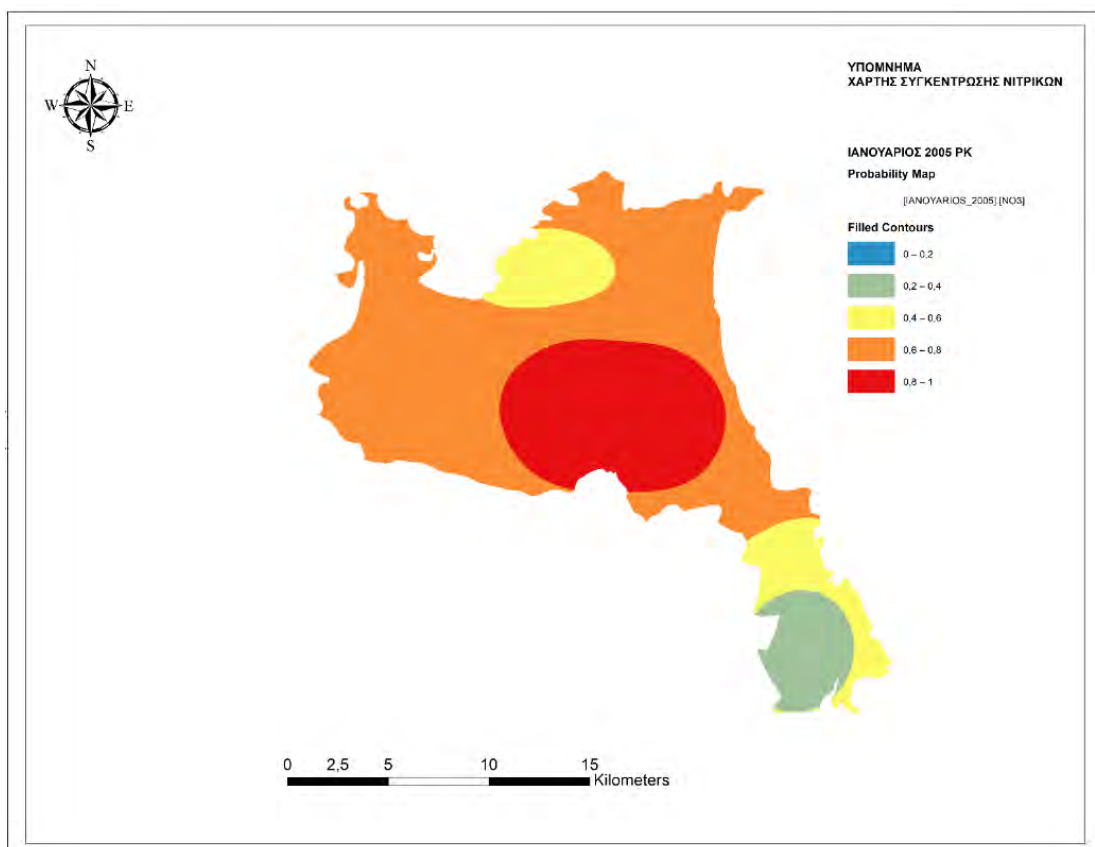
Εικόνα 64: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 65: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 66: Χάρτης Συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Τοπο to Raster



Εικόνα 67: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιανουάριος 2005 Probability Kriging

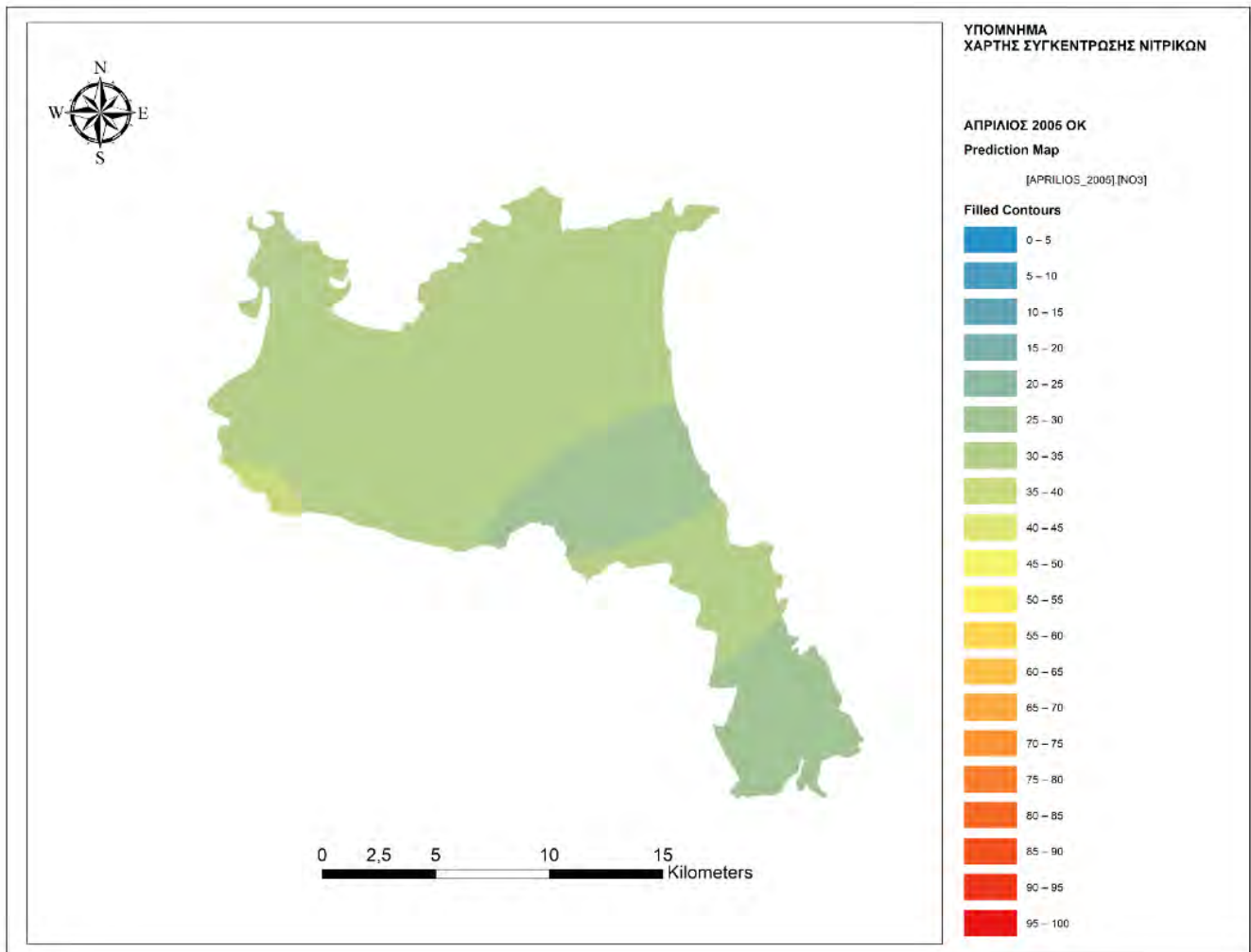
Διπλωματική Εργασία

Ιανουάριος 2005	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,03	3,8395	2,7	0,22	2,33
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	33,24	35,3	32,3	0,49	35,40
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	3,83	35,6375	-	0,44
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,086	0,07	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,9135	0,9131	-	-

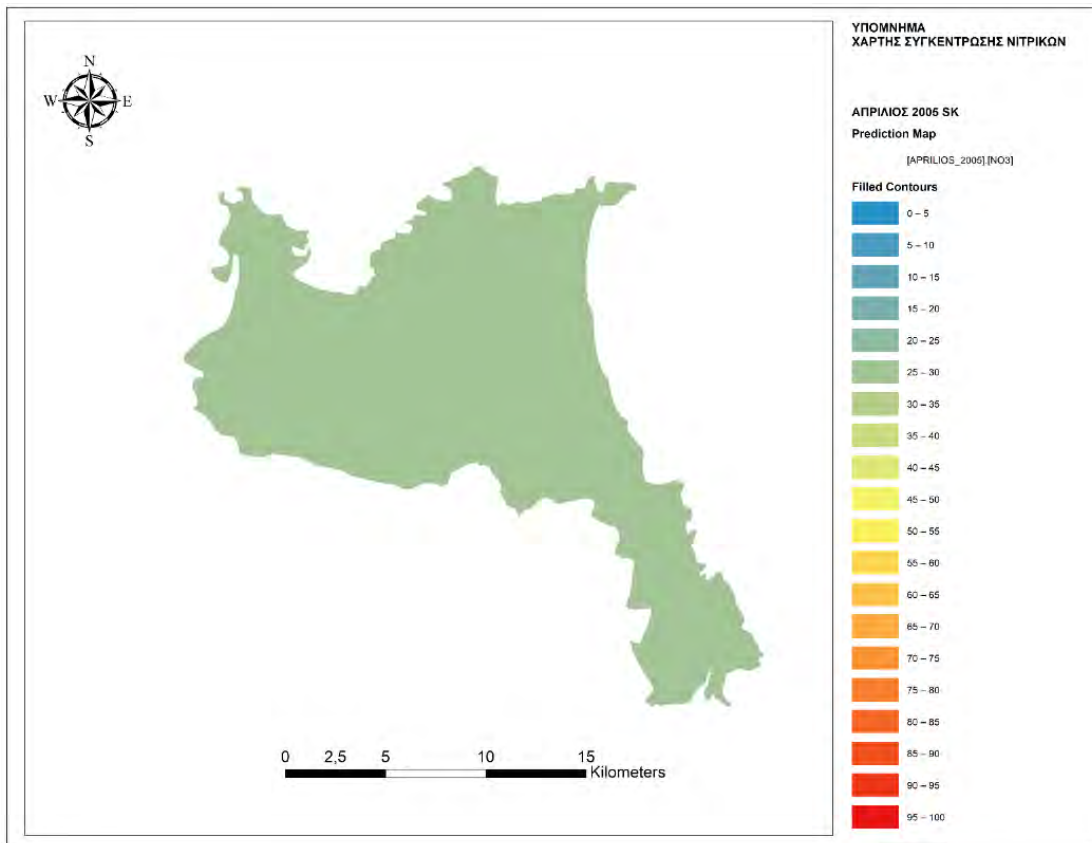
Πίνακας 5: Σφάλματα Ιανουάριος 2005

Για τον Ιανουάριο του 2005 παρατηρούμε ότι οι μέθοδοι kriging δείχνουν ότι στην περιοχή μελέτης επικρατεί μόνο μια τιμή συγκέντρωσης νιτρικών, αυτή των 25 mg/l, σε αντίθεση με τη μέθοδο Topo To Raster που δείχνει πως κυμαίνονται οι συγκεντρώσεις σε όλο τον υδροφόρα. Σε αρκετά σημεία οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν τα 25 mg/l, κυρίως στο κεντρικό τμήμα όπου και εμφανίζεται το φαινόμενο της νιτρορύπανσης.

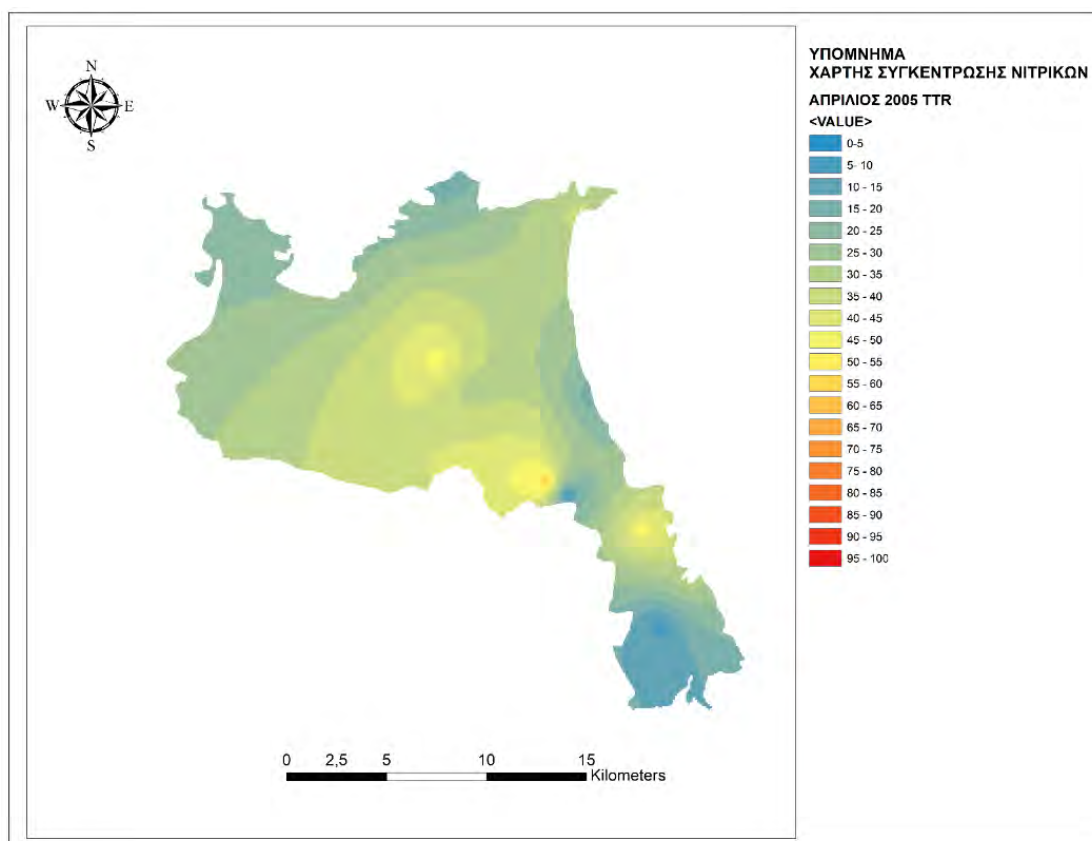
➤ Απρίλιος



Εικόνα 68: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 69: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Απρίλιος 2005 Simple Kriging



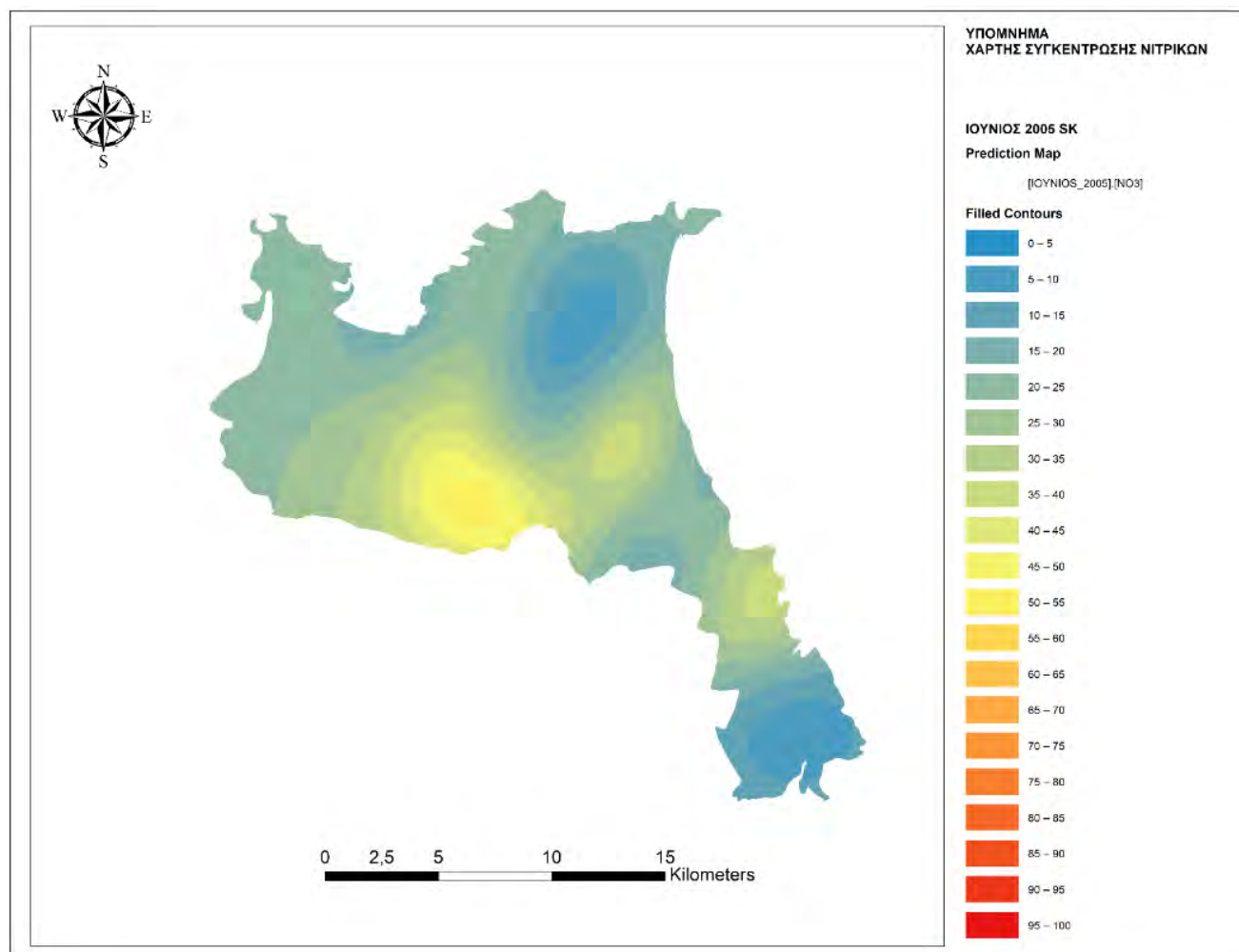
Εικόνα 70: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Απρίλιος 2005 Topo to Raster

Απρίλιος 2005	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		1,15	-1,21	-	3,15
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		17,38	16,35	-	32,65
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	17,96	16,92	-	1,05
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,06	0,0059	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,96	0,96	-	-

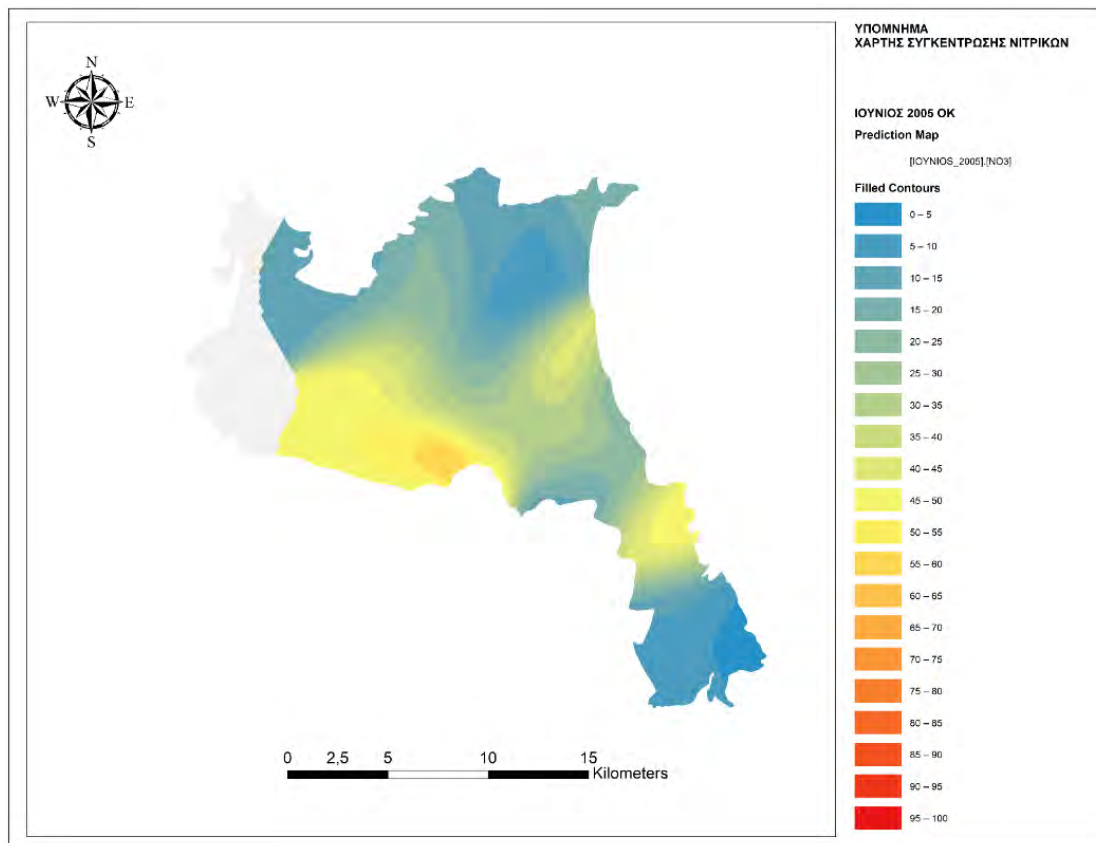
Πίνακας 6: Σφάλματα Απρίλιος 2005

Από όλες τις μεθόδους έχουν παραχθεί χάρτες με ομαλές επιφάνειες και απ όλες προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης συναντώνται αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών που ξεπερνούν τα 25 mg/l. Όμως οι μέθοδοι kriging υποδεικνύουν ότι η μέγιστη τιμή που συναντάμε είναι τα 60mg/l σε αντίθεση με την Radial Basis Functions και την Topo To Raster που η μέγιστη τιμή είναι τα 100 mg/l. Ακόμη η μέθοδος probability kriging παράγει χάρτη που υποδεικνύει εύστοχα ότι οι πιθανότητες να ξεπεραστεί η τιμή των 25 mg/l αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στο κεντρικό τμήμα της περιοχής όπου και εμφανίζεται το φαινόμενο της νιτρορύπανσης.

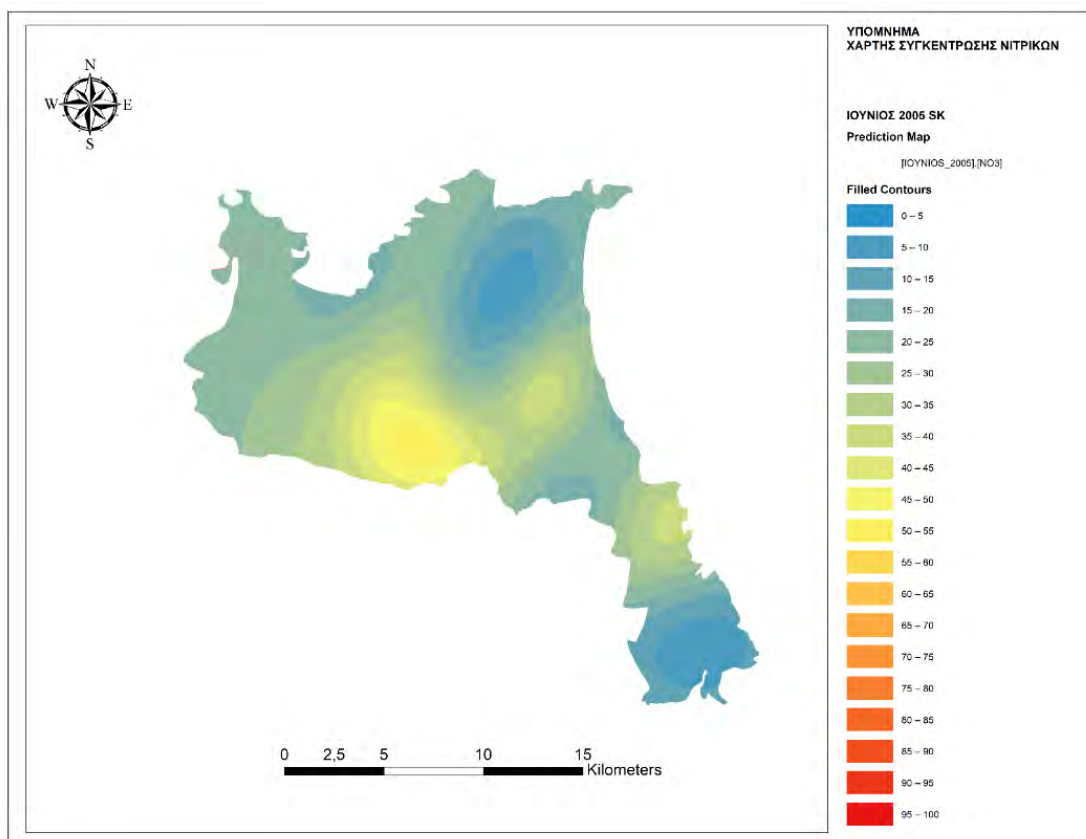
➤ Ιούνιος



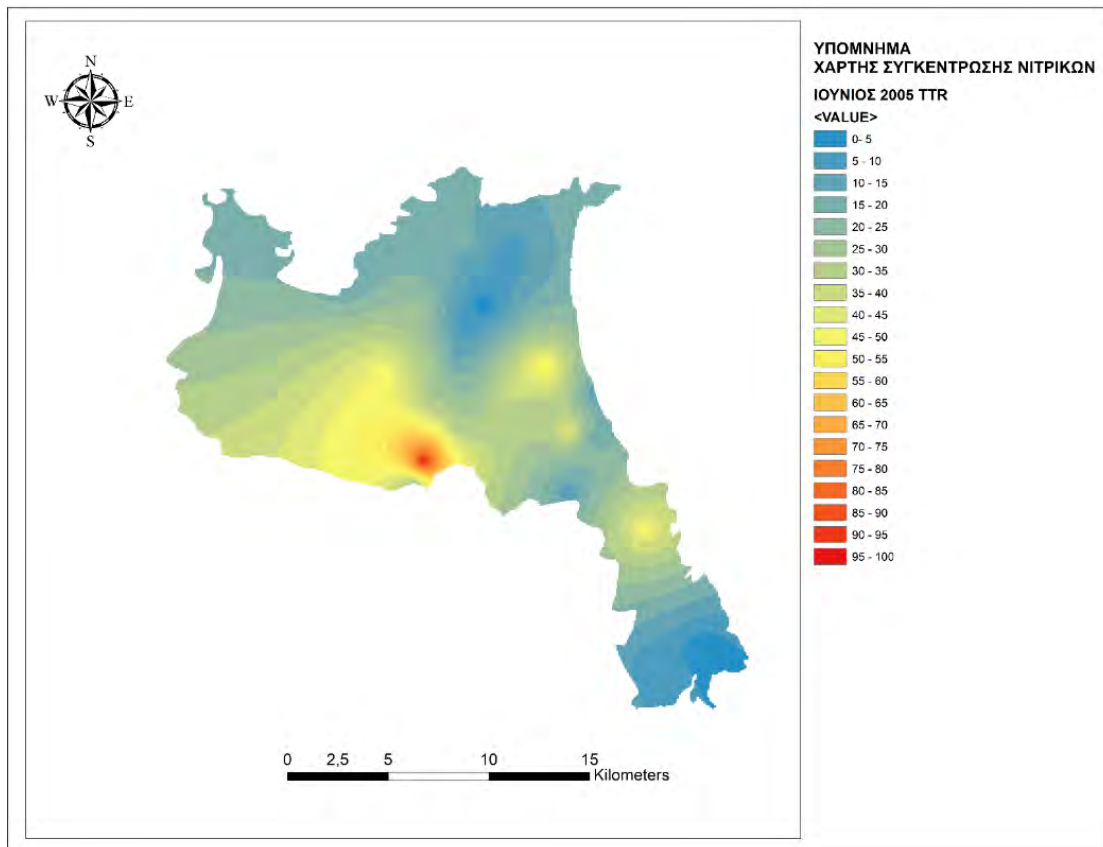
Εικόνα 71: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 RBS



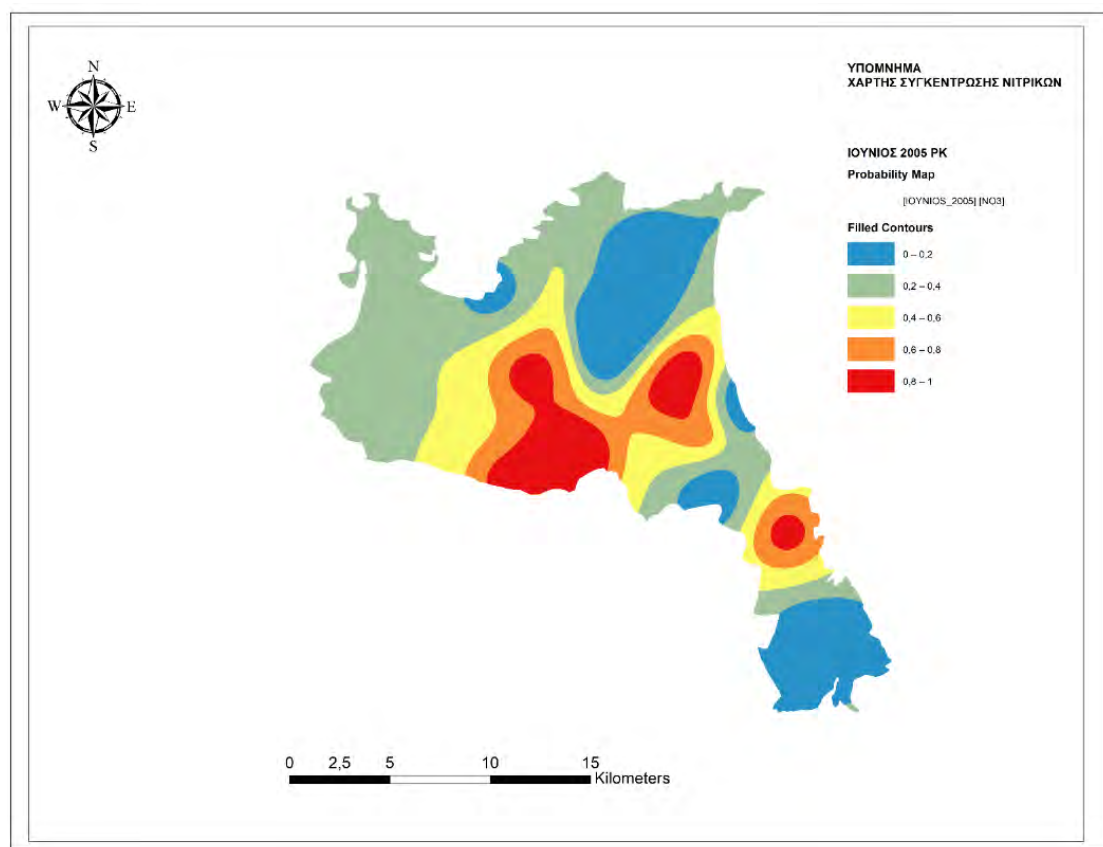
Εικόνα 72: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 73: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 74: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Topo to Raster



Εικόνα 75: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιούνιος 2005 Probability Kriging

Ιούνιος 2005	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,5291	-0,95	0,42	0,063	1,82
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	24,12	21,85	20,59	0,42	29,62
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	20,77	17,06	-	0,94
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,04	-0,02	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,0045	1,16	-	-

Πίνακας 7: Σφάλματα Ιούνιος 2005

Για αυτή την περίοδο παρατηρούμε ότι οι μέθοδοι Kriging δεν έχουν τόσο ομαλές επιφάνειες σε σχέση με τις Radial Basis Functions και Topo To Raster. Παρόλα αυτά όλες οι μέθοδοι συσχετίζονται ως προς ποια σημεία της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν αυξημένες τιμές νιτρικών άνω του επιτρεπτού. Στο κεντρικό τμήμα και σε κάποια σημεία στο ανατολικό κομμάτι παρατηρούνται αυξημένες τιμές. Όμως οι μέθοδοι kriging σε αυτά τα σημεία μέγιστη τιμή έχουν τα 50 mg/l ενώ οι άλλες δύο προσεγγίζουν τα 100 mg/l. Ο χάρτης που προκύπτει από τη μέθοδο probability kriging έχει καλή συσχέτιση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Στις περιοχές που οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν τα 25 mg/l συναντάται το φαινόμενο της νιτρορύπανσης. Για τα υπόλοιπα χρόνια τα αποτελέσματα ήταν παρεμφερή, για αυτό οι χάρτες παρουσιάζονται στο παράρτημα.

6.2.1 Σχολιασμός στατιστικών δεικτών χαρτών συγκέντρωσης νιτρικών

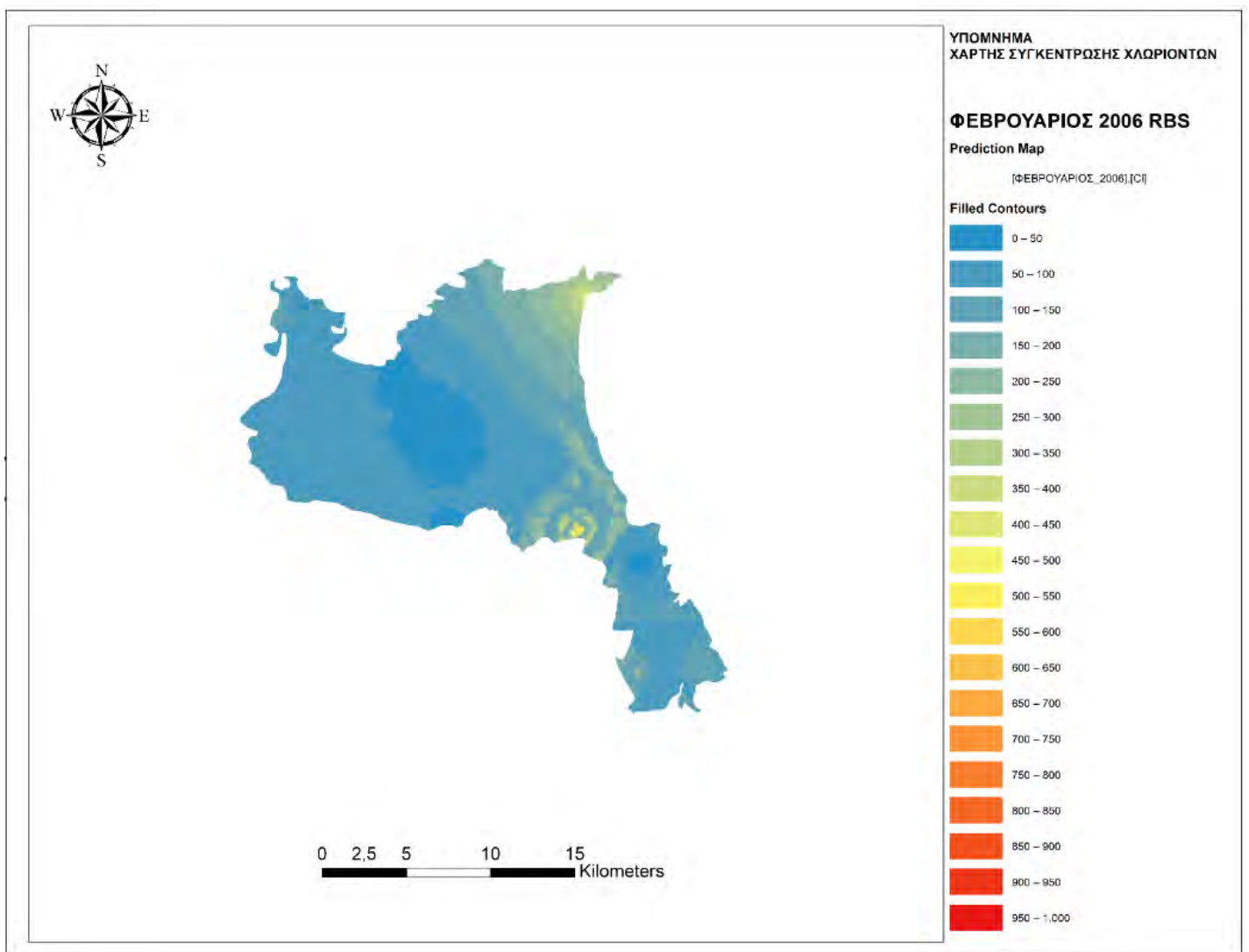
Από τους πίνακες με τα σφάλματα των χαρτών συγκέντρωσης νιτρικών παρατηρούμε ότι οι στατιστικοί δείκτες των μεθόδων Ordinary Kriging και Simple Kriging έχουν τιμές που θα μπορούσαν να θεωρηθούν αποδεκτές σύμφωνα με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες υποενότητες, όμως οι μέθοδοι δεν μπορούν να ληφθούν σοβαρά υπόψη διότι οι τιμές που προβλέφθηκαν από αυτές τις μεθόδους τείνουν να πάρουν τιμές κοντά στο μέσο όρο του συνόλου των τιμών. Οι μέθοδοι probability kriging και Topo To Raster έχουν πολύ μικρότερους στατιστικούς δείκτες από τις άλλες μεθόδους και σε συνδυασμό με τα πολύ καλά ποιοτικά αποτελέσματα τους μπορούν να μας βοηθήσουν να διακρίνουμε σε ποιες περιοχές συναντάται το φαινόμενο της ρύπανσης από νιτρικά.

6.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης χλωριόντων στον υπόγειο υδροφόρα

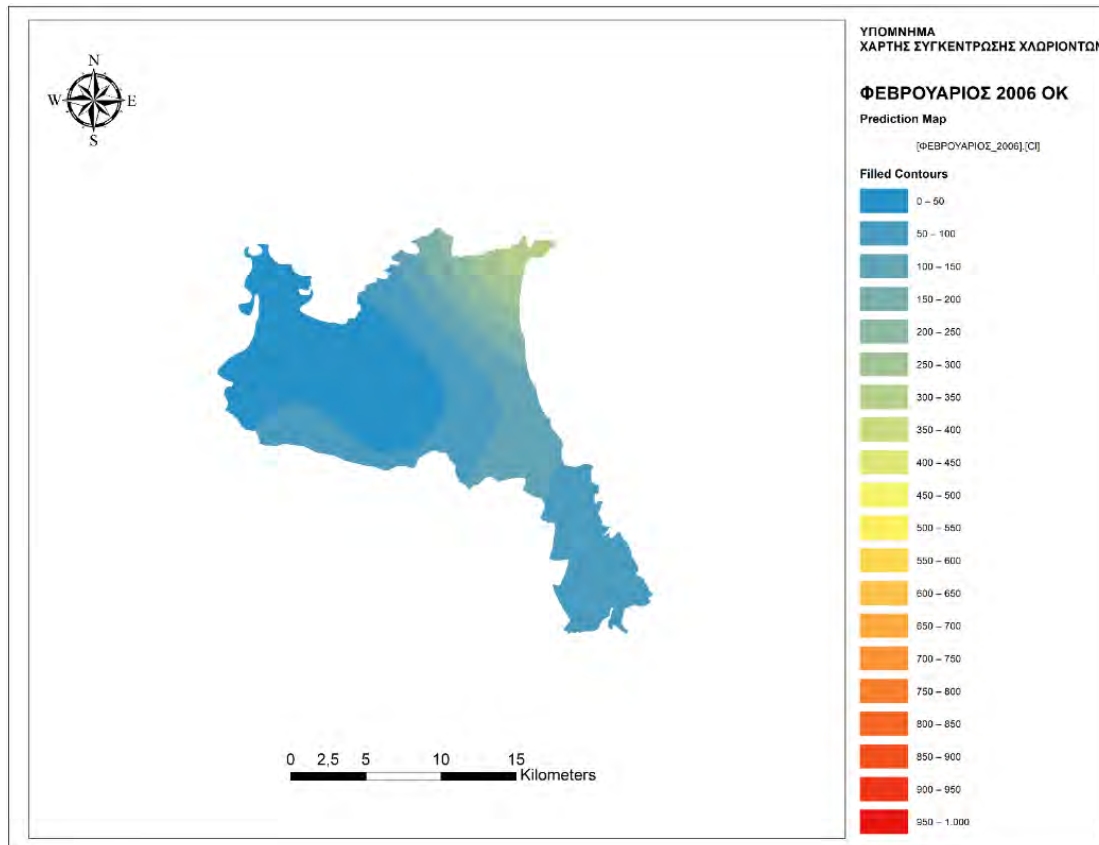
Η εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής για την αποτίμηση της συγκέντρωσης Χλωριόντων στον υπόγειο υδροφόρα εφαρμόστηκε όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

2006

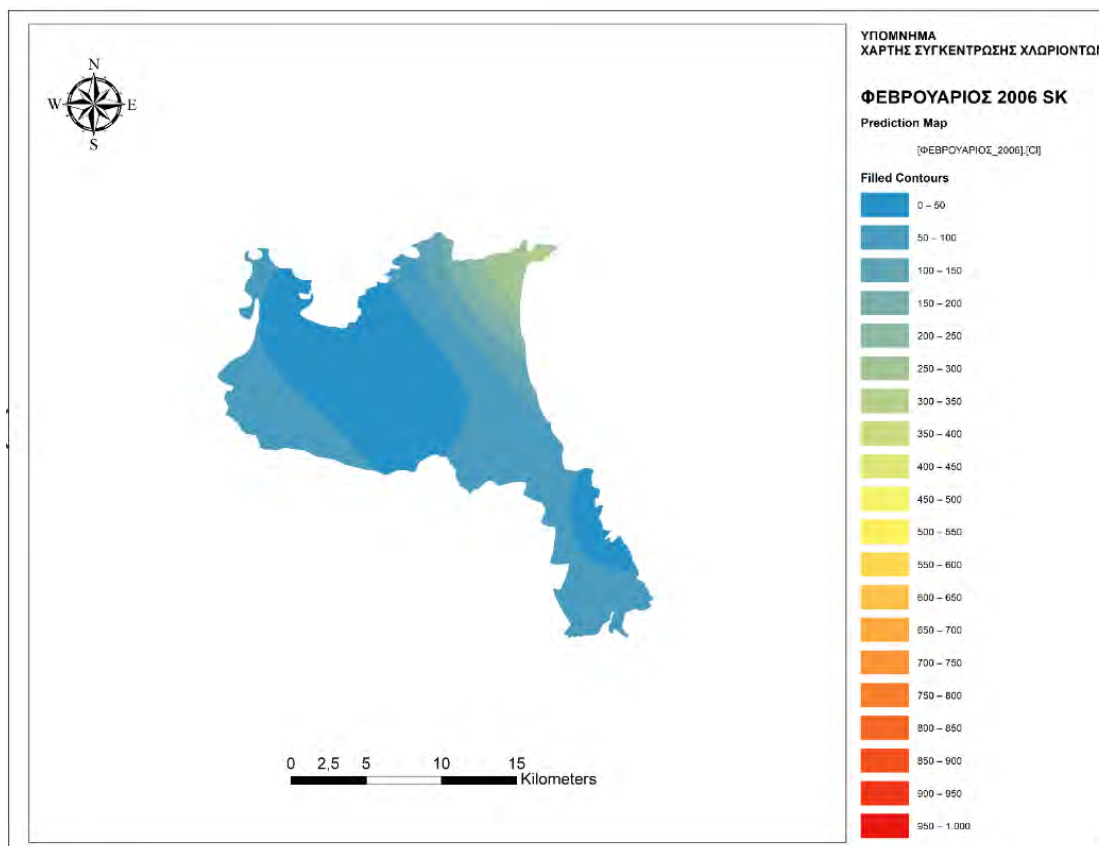
➤ **Φεβρουάριος**



Εικόνα 76: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 RBS

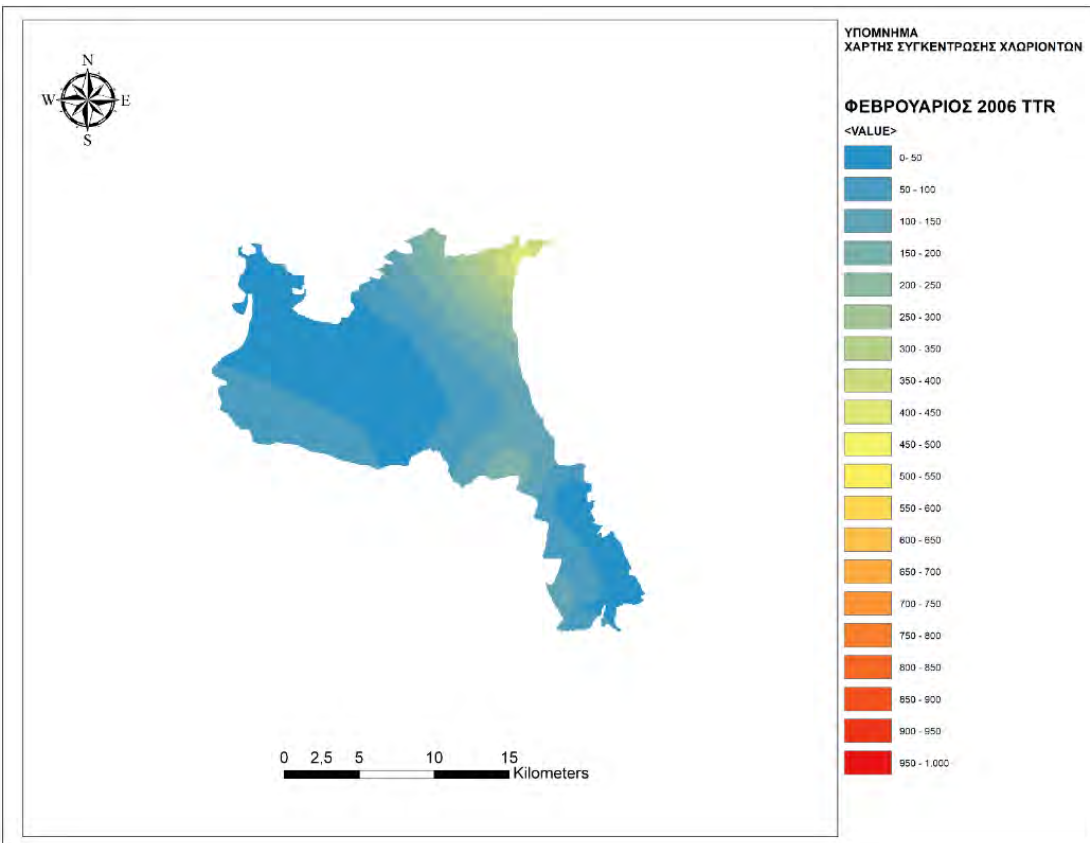


Εικόνα 77: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Ordinary Kriging

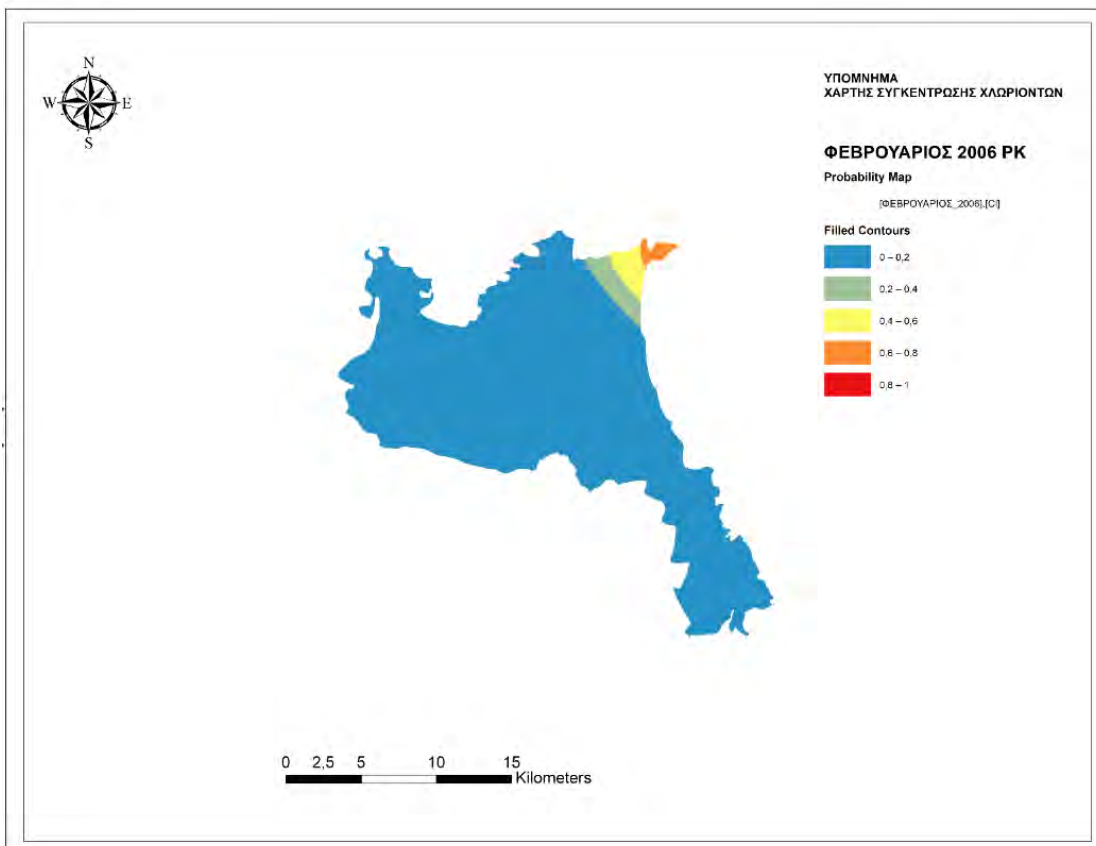


Εικόνα 78: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



Εικόνα 79: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006
Topo to Raster



Εικόνα 80: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2006 Probability Kriging

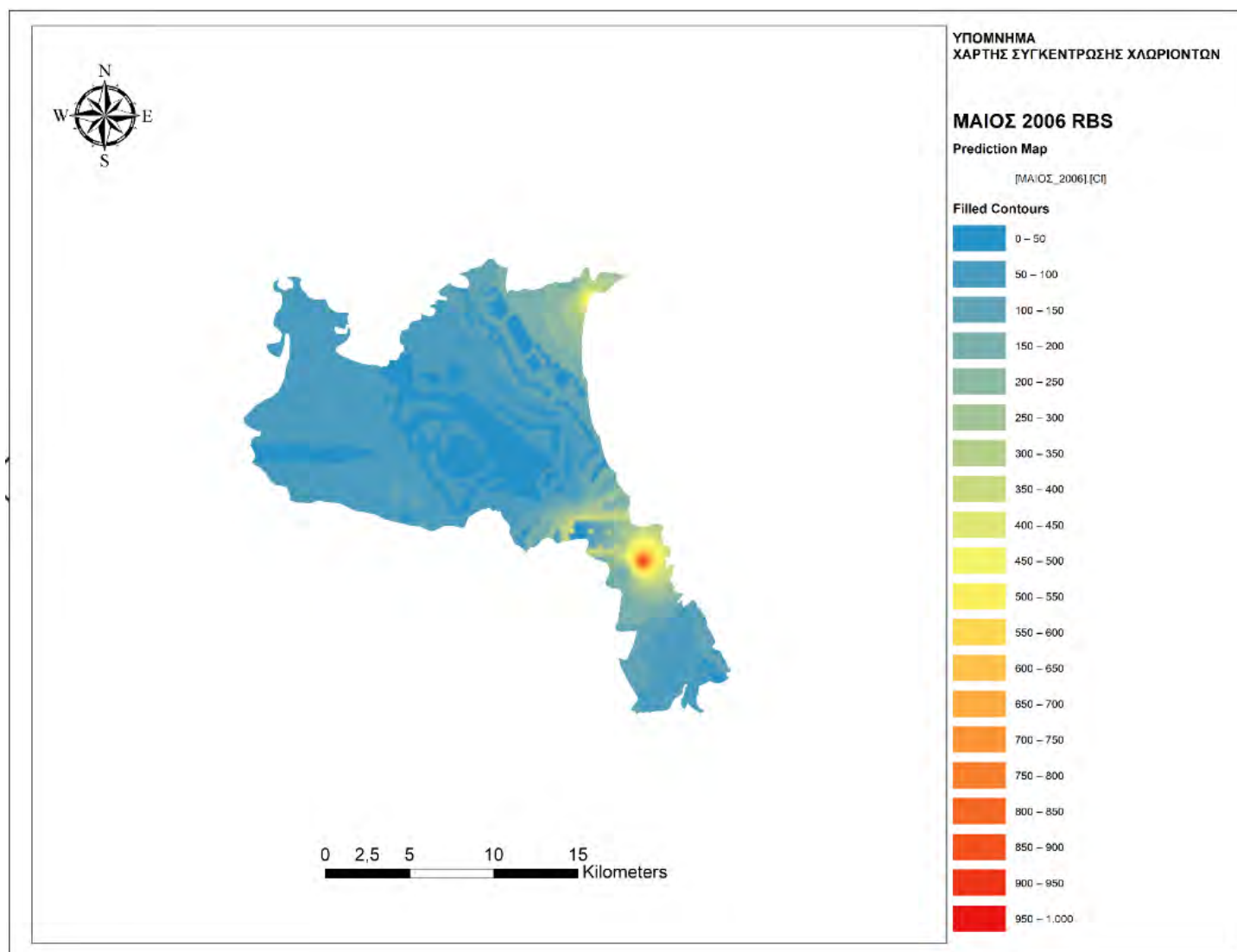
Διπλωματική Εργασία

Φεβρουάριος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-7,5	-17,09	-21,45	-0,03	1,94
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	122,08	121,09	118,81	0,24	26,57
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	90,38	71,52	-	0,34
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,12	-0,3	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,15	1,41	-	-

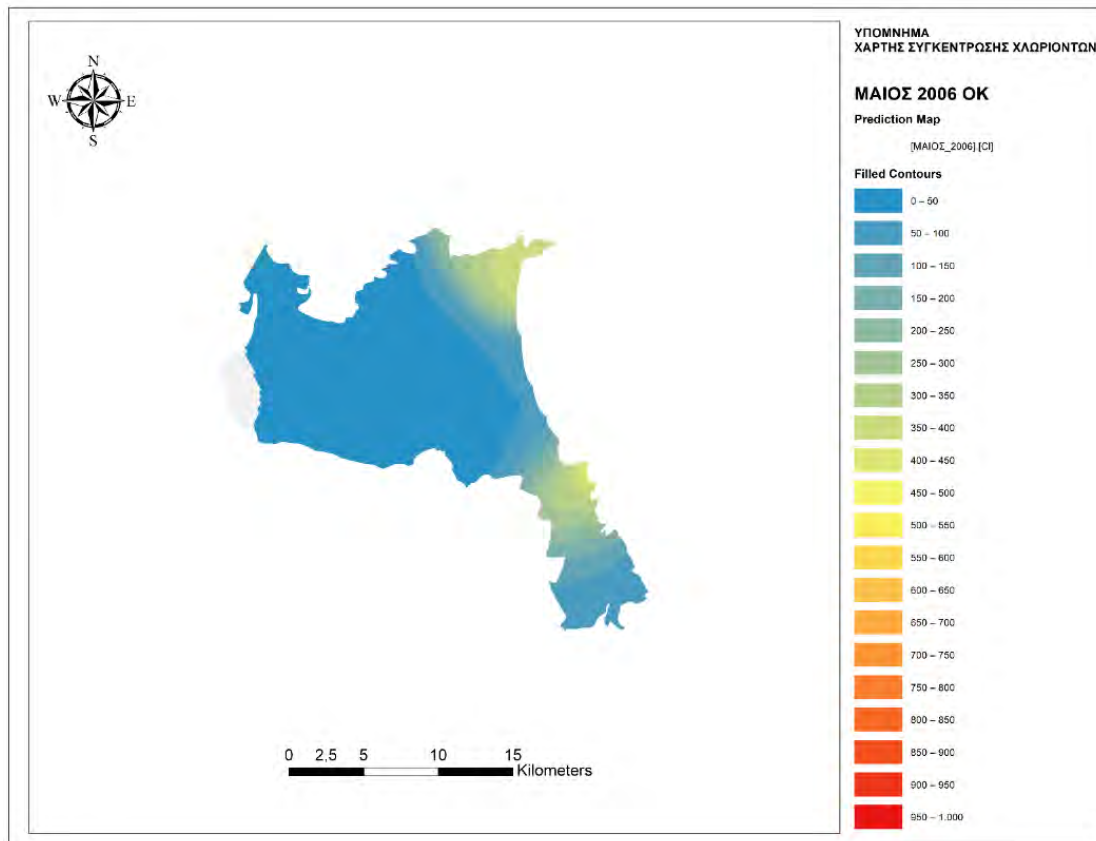
Πίνακας 8: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006

Όλες οι μέθοδοι υποδεικνύουν ότι στο βορειοανατολικό τμήμα εμφανίζονται συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα 250 mg/l . Η μέθοδος Radial Basis Functions δεν έχει ομαλές επιφάνειες σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Το γεγονός ότι στο παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης συναντάμε συγκεντρώσεις χλωριόντων άνω των 250 mg/l συνδέεται με την διείσδυση του θαλάσσιου νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

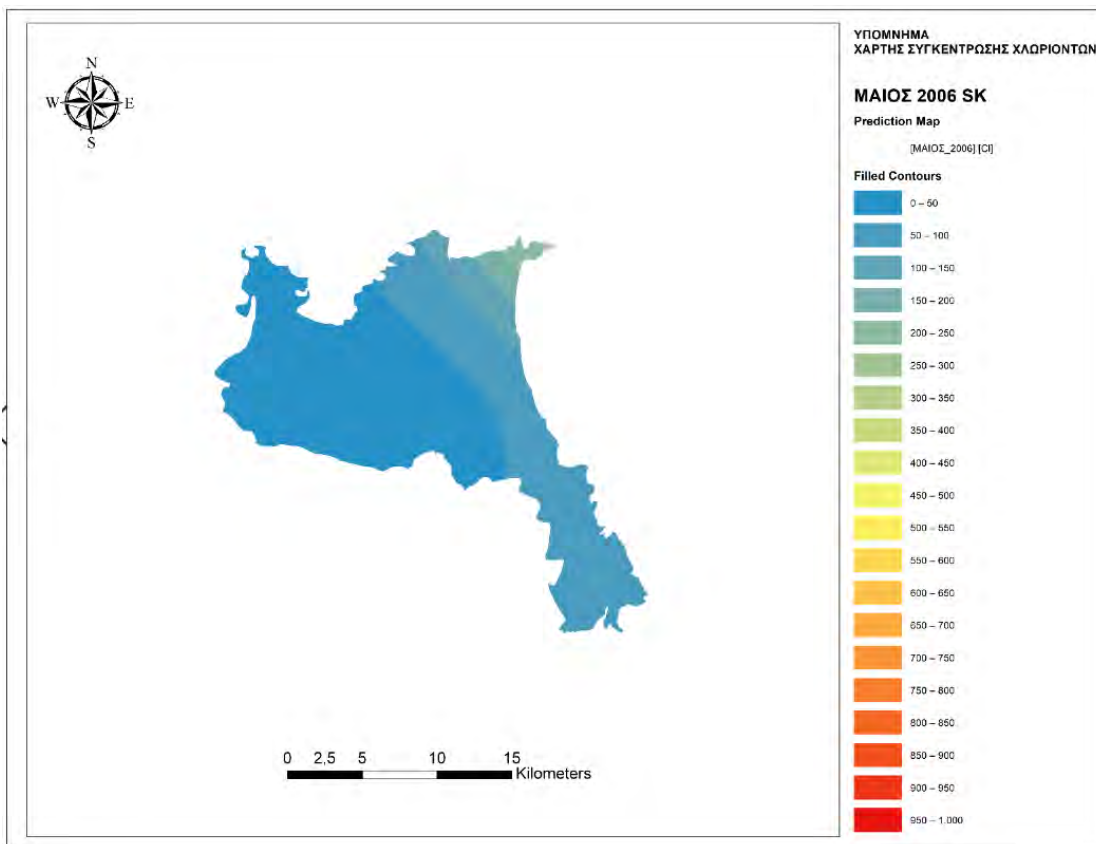
➤ Μάιος



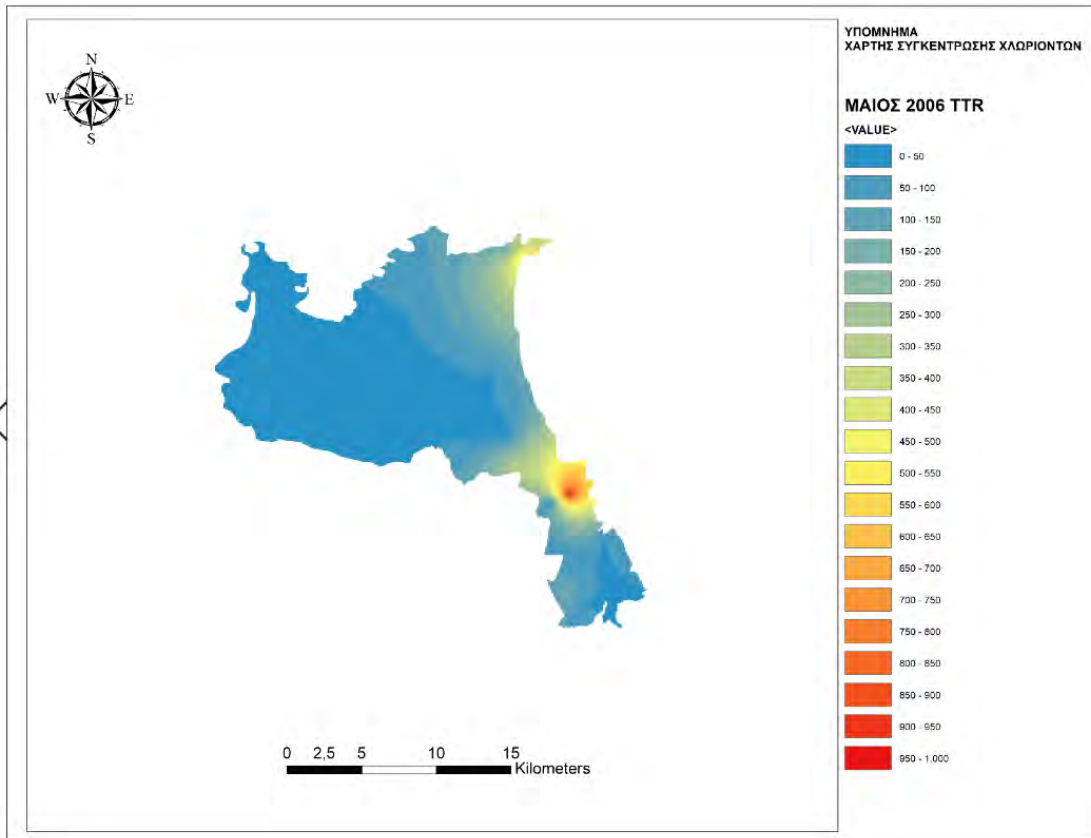
Εικόνα 81: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 RBS



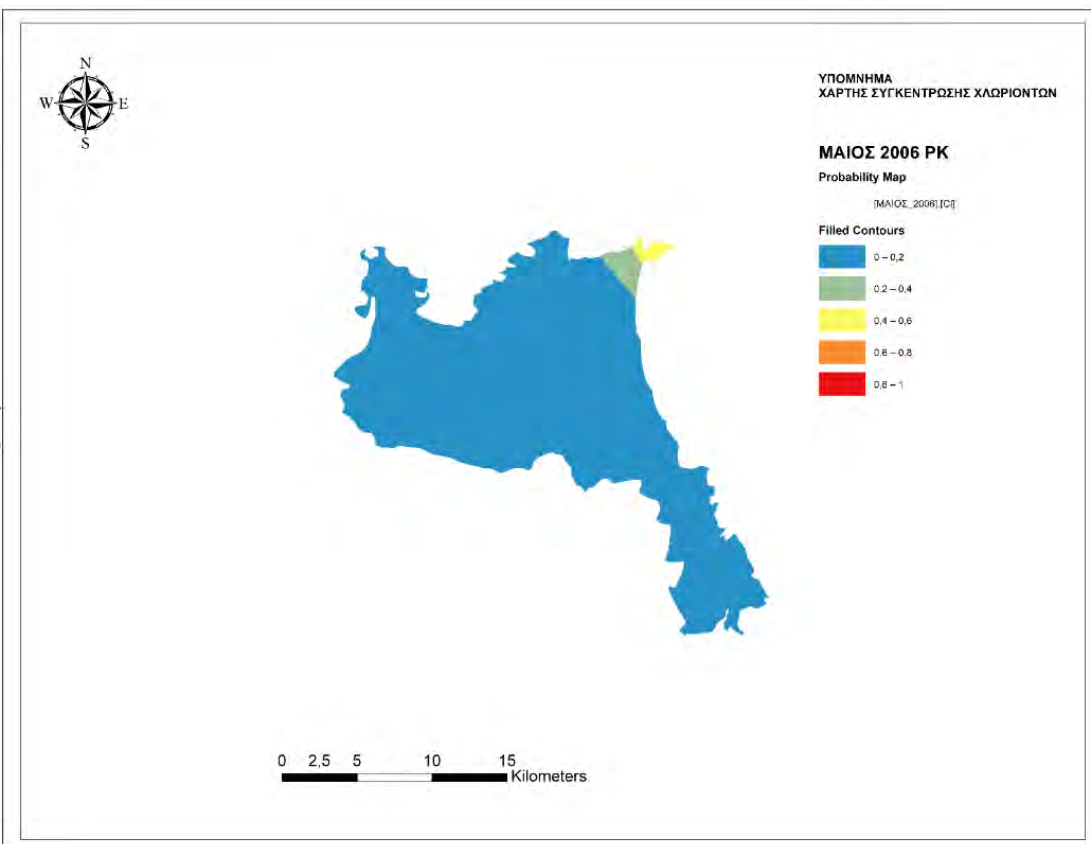
Εικόνα 82: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 83: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Simple Kriging



Εικόνα 84: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Topo to Raster



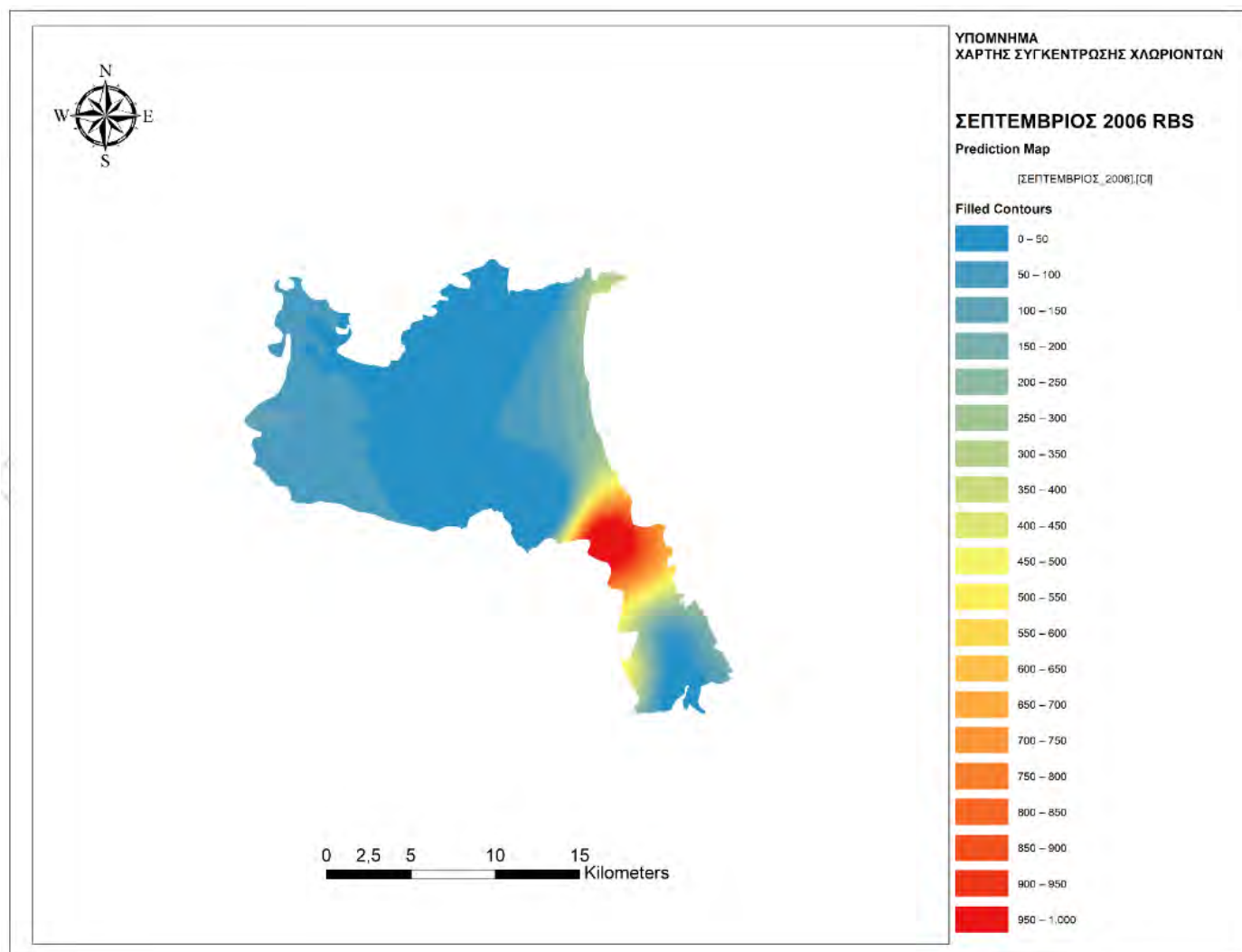
Εικόνα 85: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2006 Probability Kriging

Μάιος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,82	-7,43	-35,75	-0,02	2,65
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	237,66	250,79	214,51	0,28	30,54
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	197,32	102,7	-	0,69
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,03	-0,55	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,21	3,03	-	-

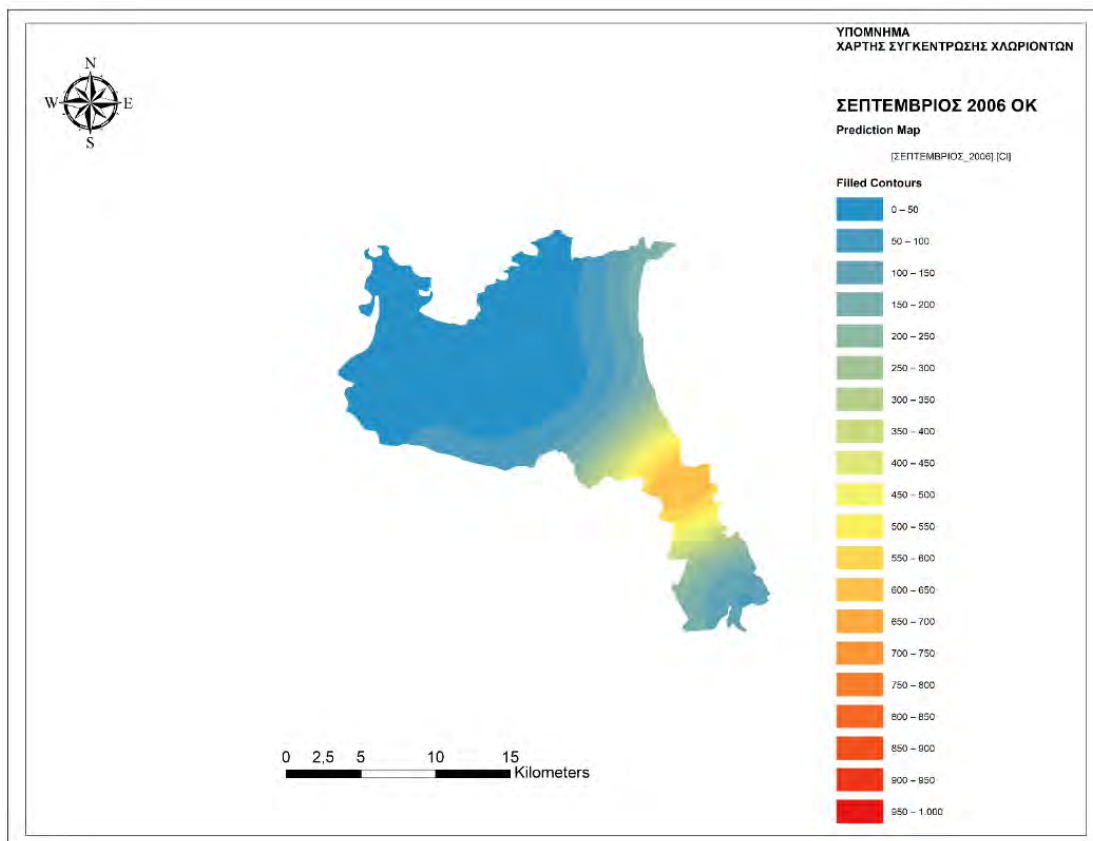
Πίνακας 9: Σφάλματα Μάιος 2006

Όλες οι μέθοδοι καταλήγουν ότι υπάρχουν ανατολικά τμήματα που συναντώνται τιμές χλωριόντων που ξεπερνούν τα 250 mg/l αλλά οι μέθοδοι kriging έχουν σαν μέγιστη τιμή τα 250 mg/l που δεν είναι αποδεκτό γιατί έχουμε μετρήσεις που ξεπερνούν αυτή την τιμή σε αντίθεση με την Τοπο Το Raster που καλύπτει όλο το εύρος τιμών και οι μέγιστες τιμές σε αυτά τα σημεία φτάνουν έως 600 mg/l. Η μέθοδος probability kriging δεν έχει καλή συσχέτιση καθώς δεν υποδεικνύει αυτά τα σημεία. Το γεγονός ότι στο παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης συναντάμε συγκεντρώσεις χλωριόντων άνω των 250 mg/l συνδέεται με την διείσδυση του θαλάσσιου νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

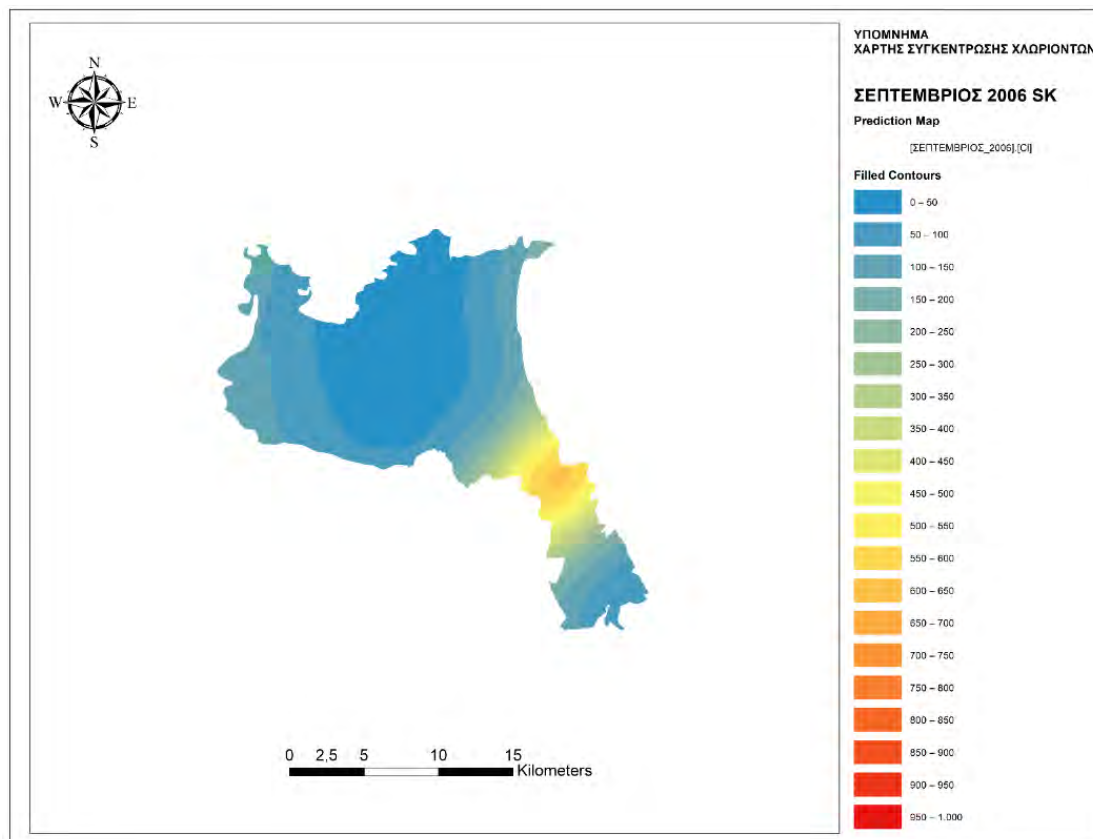
➤ Σεπτέμβριος



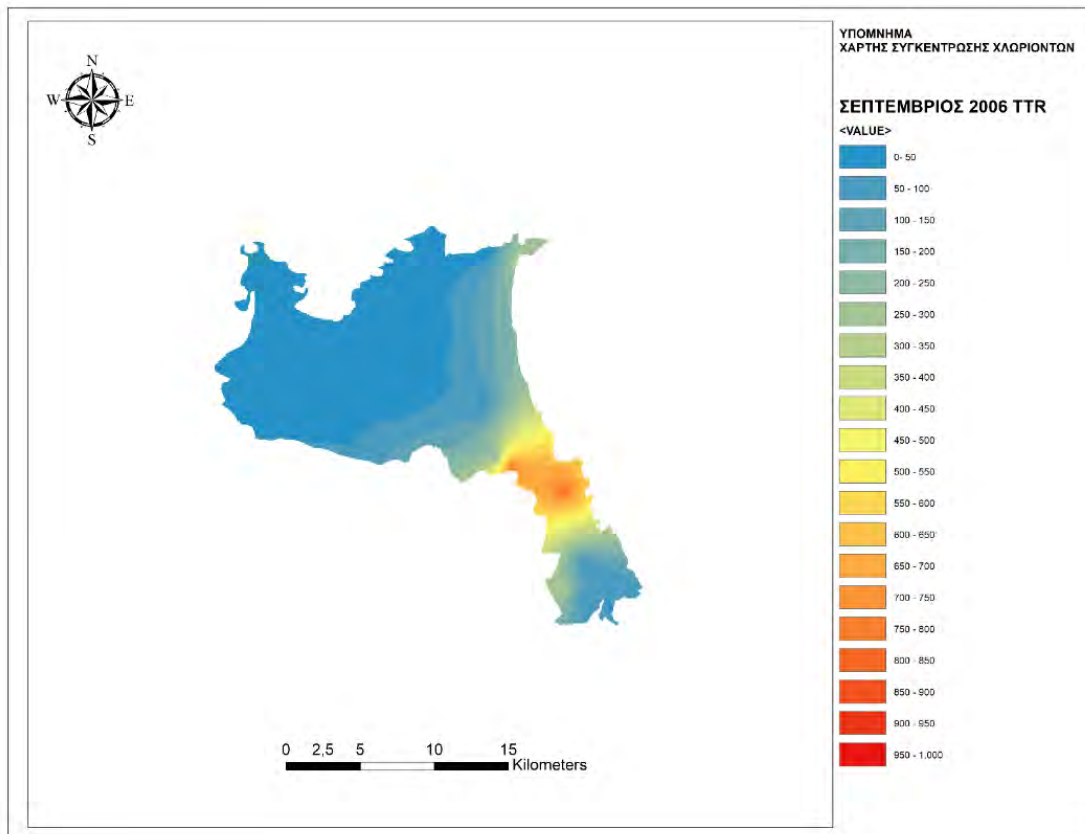
Εικόνα 86: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 RBS



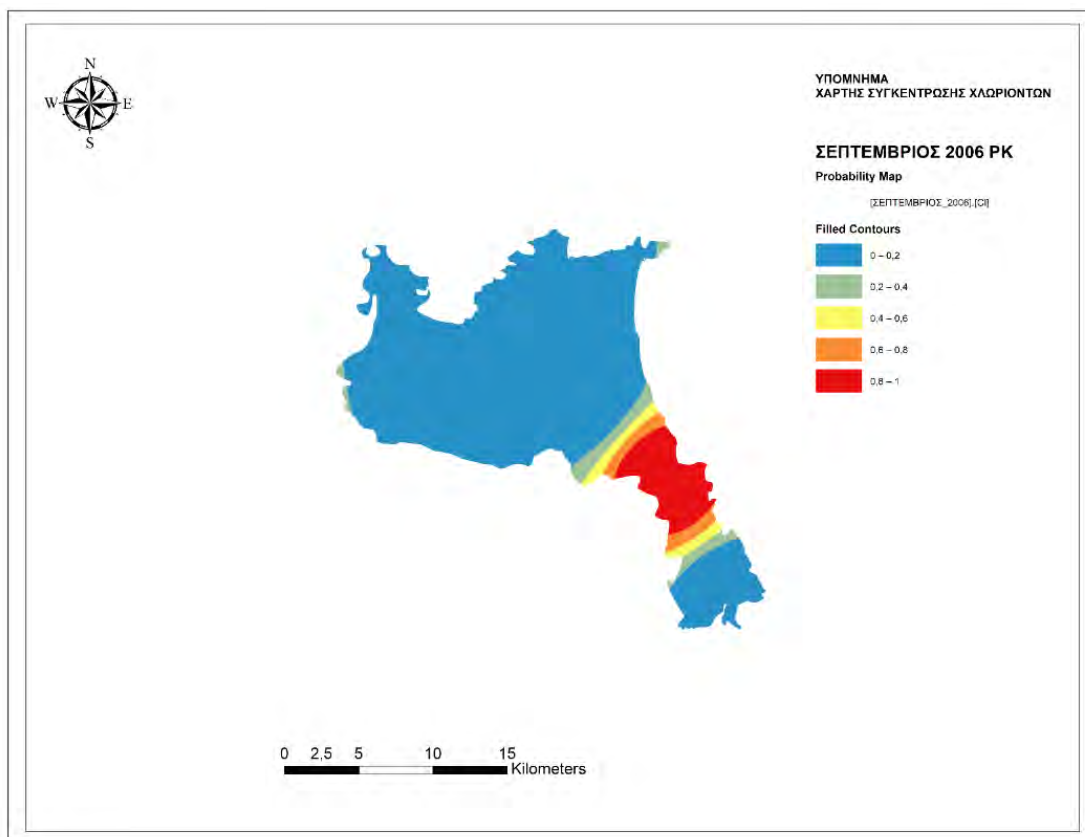
Εικόνα 87: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 88: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging



Εικόνα 89: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster



Εικόνα 90: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2006 Probability Kriging

Σεπτέμβριος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-0,47	-5,37	-16,9	-0,03	1,48
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	200,67	202,84	190,2	0,43	25,34
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	216,9	184,1	-	0,37
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,01	-0,07	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,98	0,93	-	-

Πίνακας 10: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006

Όλες οι μέθοδοι καταλήγουν ότι υπάρχουν ανατολικά τμήματα που συναντώνται τιμές χλωριόντων που ξεπερνούν τα 250 mg/l και φτάνουν έως 600mg/l . Όλες οι μέθοδοι έχουν ομαλές επιφάνειες. Η μέθοδος probability kriging υποδεικνύει τα συγκεκριμένα σημεία που παρατηρούμε συγκεντρώσεις άνω του επιτρεπτού ορίου. Το γεγονός ότι στο παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης συναντάμε συγκεντρώσεις χλωριόντων άνω των 250 mg/l συνδέεται με την διείσδυση του θαλάσσιου νερού στον υπόγειο υδροφόρα. Επειδή, τα αποτελέσματα των υπόλοιπων ετών είναι παρεμφερή, οι χάρτες παρουσιάζονται στο παράρτημα στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

6.3.1 Σχολιασμός στατιστικών δεικτών χαρτών συγκέντρωσης χλωριόντων

Εξετάζοντας τους πίνακες με τα σφάλματα των χαρτών συγκέντρωσης χλωριόντων παρατηρούμε ότι οι τιμές του μέσου σφάλματος, της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και του μέσου σταθερού σφάλματος για τις μεθόδους Radial Basis Functions, Ordinary Kriging, Simple Kriging είναι υπερβολικά μεγάλες και αυτό οφείλετε στην αδυναμία των μεθόδων να προβλέψουν τις μέγιστες τιμές των σημείων δειγματοληψίας για αυτό το λόγο δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη. Οι τιμές του μέσου σφάλματος, της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και του μέσου σταθερού σφάλματος που προκύπτουν από τις μεθόδους probability kriging και Topo To Raster είναι αποδεκτές.

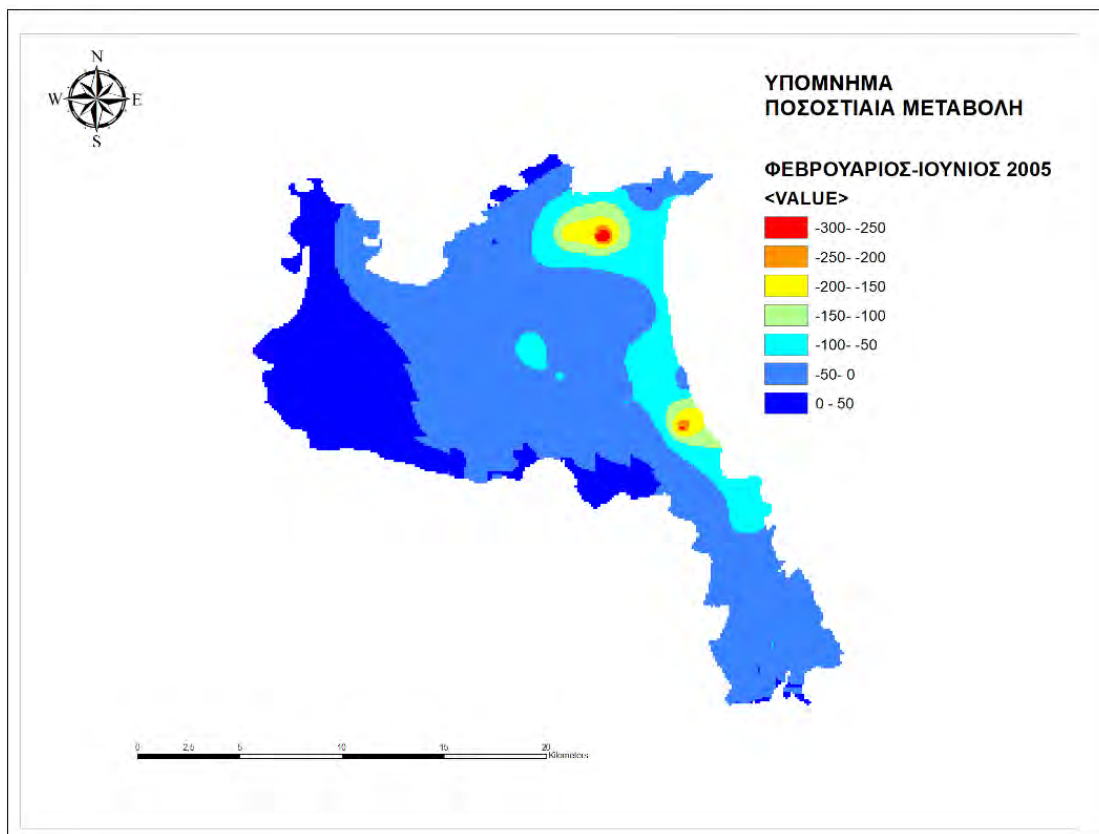
6.4 Έλεγχος πτώσης στάθμης

Το λογισμικό Arc Map μας δίνει τη δυνατότητα μέσω του εργαλείου map algebra να κάνουμε πράξεις μεταξύ χαρτών. Σκοπός ήταν να γίνει έλεγχος της πτώσης στάθμης μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου.

Κάτι τέτοιο δεν κατέστη εφικτό καθώς δεν υπήρχε συστηματική καταμέτρηση της πιεζομετρίας για τη δημιουργία χάρτη ο οποίος θα αναπαριστά την υγρή ή ξηρή περίοδο, επιλέχθηκε από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν ένας χάρτης ενός μήνα υγρής περιόδου και αντίστοιχα ένας χάρτης ενός μήνα ξηρής περιόδου για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση της πτώσης στάθμης μεταξύ τους.

Η πράξη που πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου map algebra ήταν η παρακάτω : $\frac{\text{τελικός χάρτης} - \text{αρχικός χάρτης}}{\text{αρχικός χάρτης}} * 100$, δηλαδή η ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των δύο μηνών που εξετάζονται.

2005

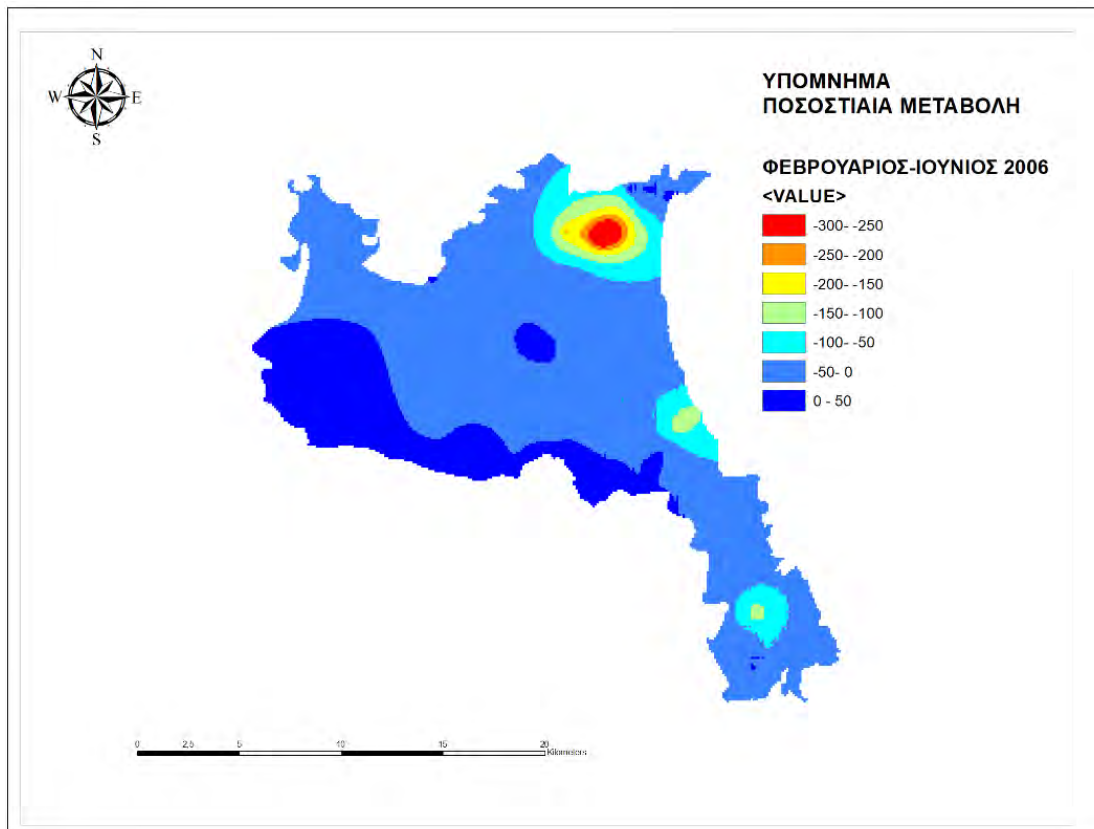


Εικόνα 91: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2005

Διπλωματική Εργασία

Τον Ιούνιο 2005, που είναι μήνας ξηρής περιόδου, σε σχέση με το Φεβρουάριο του 2005 που είναι μήνας υγρής περιόδου παρατηρείται μείωση της στάθμης έως και 50% στα περισσότερα σημεία του υδροφορέα, ενώ σε ορισμένα ανατολικά σημεία η μείωση φτάνει έως και 100%.

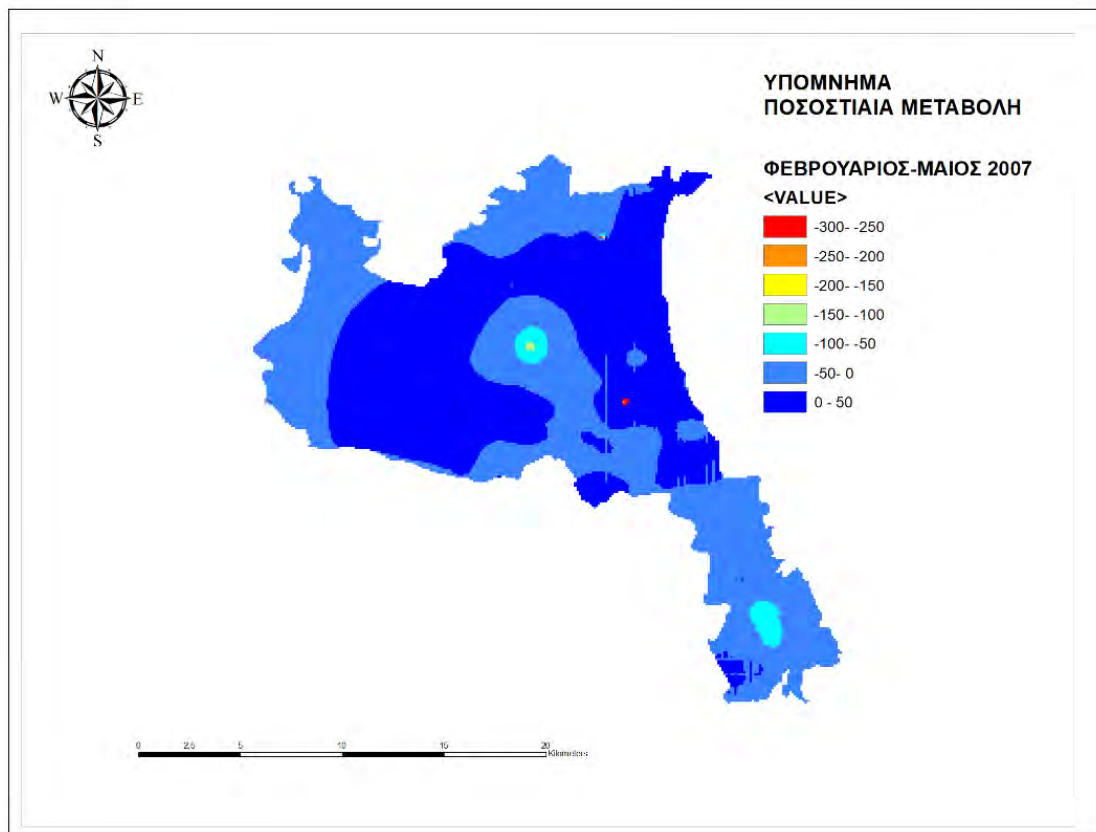
2006



Εικόνα 92: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2006

Τον Ιούνιο 2006, που είναι μήνας ξηρής περιόδου, σε σχέση με το Φεβρουάριο του 2006 που είναι μήνας υγρής περιόδου παρατηρείται μείωση της στάθμης έως και 50% στα περισσότερα σημεία του υδροφορέα, ενώ σε ορισμένα ανατολικά σημεία η μείωση φτάνει έως και 100%.

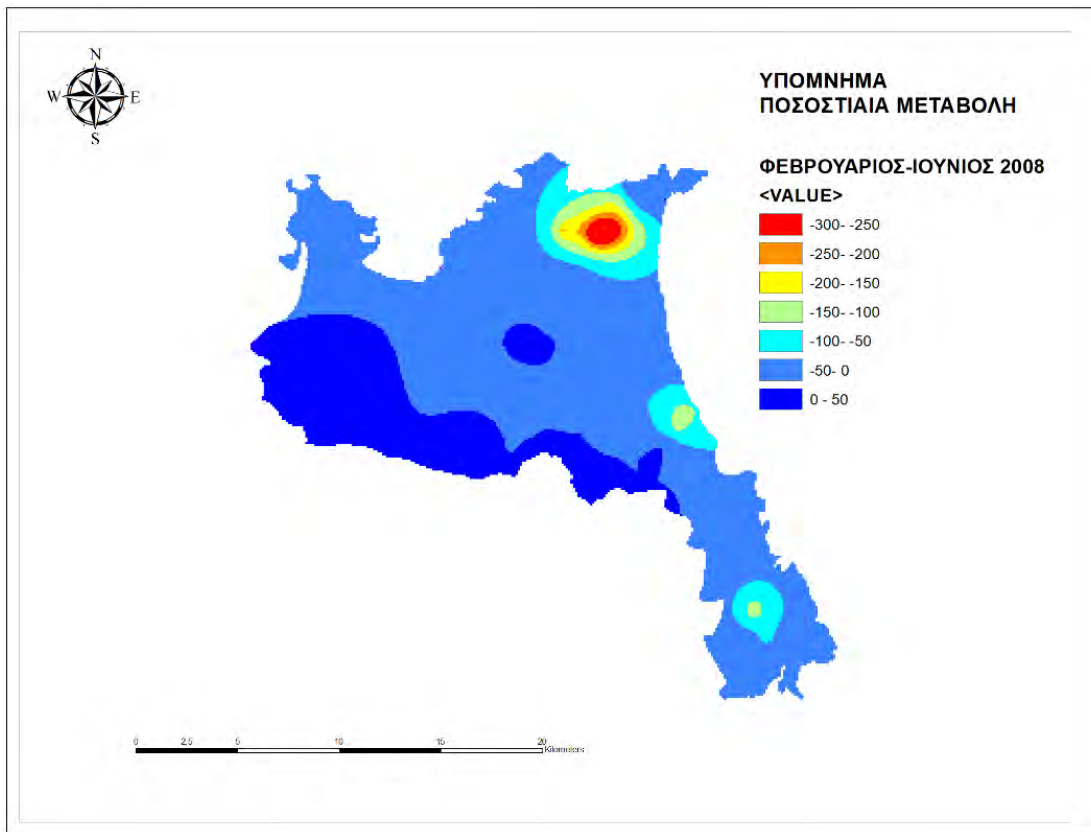
2007



Εικόνα 93: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Μαΐου 2007

Τον Μάιο 2007, που είναι μήνας ξηρής περιόδου, σε σχέση με το Φεβρουάριο του 2007 που είναι μήνας υγρής περιόδου παρατηρείται μείωση της στάθμης έως και 50% στα περισσότερα σημεία του υδροφορέα. Παρατηρούνται και τμήματα όμως του υδροφορέα που έχουμε αύξηση της στάθμης.

2008



Εικόνα 94: Ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου-Ιουνίου 2008

Τον Ιούνιο 2008, που είναι μήνας ξηρής περιόδου, σε σχέση με το Φεβρουάριο του 2008 που είναι μήνας υγρής περιόδου παρατηρείται μείωση της στάθμης έως και 50% στα περισσότερα σημεία του υδροφορέα, ενώ σε ορισμένα ανατολικά σημεία η μείωση φτάνει έως και 100%.

7. Διαχειριστικά σενάρια της αντιμετώπισης της ρύπανσης του υδροφορέα από Νιτρικά

Πολλές περιοχές αντιμετωπίζουν προβλήματα ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα από νιτρικά. Το ΦΕΚ 1575/Β/05.08.1999 του άρθρου 2 διακρίνει τις περιοχές που έχουν θεωρηθεί ευπρόσβλητες ζώνες ρύπανσης νιτρικών αλάτων γεωργικής προέλευσης σε :

- Νερά του Πηνειού ποταμού
- Υπόγεια νερά των : Θεσσαλικού πεδίου, Κωπαϊδικού Πεδίου, Αργολικού πεδίου και λεκάνης Πηνειού Ηλείας
- Νερά του Παγασητικού Κόλπου.

Εξαιτίας του Θεσσαλικού κάμπου που ευνοεί τις καλλιέργειες και την αγροτική δραστηριότητα, το θεσσαλικό πεδίο αποτελεί μια από τις πιο επιβαρυνμένες περιοχές νιτρορρύπανσης, λόγω της ανεξέλεγκτης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων.

7.1 Κατείσδυση Νιτρικών στον υπόγειο υδροφορέα

Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα νιτρικά ως ρύπος έχουν μεγάλη κινητικότητα και είναι ευδιάλυτα στο νερό, για να πραγματοποιηθεί μια μελέτη της έκπλυσης τους στον υπόγειο υδροφορέα καθίσταται αναγκαίος ο υπολογισμός της κατείσδυση των νιτρικών για το σύνολο των καλλιεργειών. Η ποσοστιαία κατανομή τους για κάθε μήνα για το σύνολο ενός έτους παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας	Ποσοστό Κατανομής Νιτρικών (%)	Μήνας	Ποσοστό Κατανομής Νιτρικών (%)
Σεπτέμβριος	0	Μάρτιος	15
Οκτώβριος	10	Απρίλιος	15
Νοέμβριος	10	Μάιος	0
Δεκέμβριος	0	Ιούνιος	15
Ιανουάριος	10	Ιούλιος	15
Φεβρουάριος	10	Αύγουστος	0

Πίνακας 11: Ποσοστιαία κατανομή Νιτρικών (Πηγή : Υδρομέτρω, 2015)

Διπλωματική Εργασία

Από το Shamruk M. κ.α. (2000) είναι γνωστό ότι το 30% έως 50% της συνολικής ποσότητας νιτρικών που εφαρμόζεται στις καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι πιθανό να κατεισδύσει στον υπόγειο υδροφόρο.

Για τον υπολογισμό του φορτίου έκπλυσης νιτρικών χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση : (Πηγή: Υδρομέντωρ, 2015)

$$\frac{\text{φορτίο νιτρικών} \left(\frac{kg}{day} \right) * 0,4}{\text{επιφανειακή κατείσδυση} \left(\frac{mm}{365day} \right) * \text{έκταση καλλιεργούμενης περιοχής} (m^2)}$$

Στον αριθμητή της εξίσωσης υπάρχει η συνολική φόρτιση από νιτρικά ενώ στον παρονομαστή επιφανειακή κατείσδυση και το σύνολο της καλλιεργούμενης έκτασης.

Από τον Constanidis (1976) και την Κύρκου (2012) θεωρείται ότι το ποσοστό ίσο με το 10% της συνολικής βροχόπτωσης κατεισδύει σε περιοχές όπου τα εδάφη προέρχονται από αλλουβιακές αποθέσεις

Η φόρτιση των νιτρικών προκύπτει από βιβλιογραφικές πηγές με την φόρτιση των κύριων καλλιεργειών να παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα

**ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΕΣ ΛΙΠΑΝΣΕΙΣ
ΘΕΣΣΑΛΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (Kg
N/στρέμμα)**

Καλλιέργεια	Λίπανση	Μ.Ο
Αμπέλια	10-15	12,5
Αμπέλια νεαρά	10-15	12,5
Αμυγδαλιές	15-20	17,5
Αμυγδαλιές νεαρές	3-5	4
Αχλαδιά	5-10	7,5
Βαμβάκι	12-18	15
Βερυκοκιά	5-10	7,5
Βερυκοκιά για μεταποίηση	5-10	7,5
Βερυκοκιές	10	10
Βερυκοκιές νεαρές	3-5	4
Βρώμη	8-12	10
Δαμασκηινίες	10	10
Ελιές	20	20
Ελιές νεαρές	3-4	3,5
Ηλίανθος	20-25	22,5
Καλαμπόκι	30-35	32,5
Καρποφόρα δένδρα και θάμνοι	10-15	12,5
Καρυδιές νεαρές	3-5	4
Καστανιές	10	10
Καστανιές νεαρές	3-5	4
Κερασιές	5-10	7,5
Κερασιές	10-15	12,5
Κριθάρι	10-14	12
Μηλιά	10-15	12,5
Νεαρά δένδρα (διάφορα)	2-3	2,5
Νεαρά δένδρα αχλαδιάς	2-3	2,5
Νεαρά δένδρα Κυδωνές	2-3	2,5
Νεαρά δένδρα μηλιάς	2-3	2,5
Νεκταρινιές	15-20	17,5
Ροδακινιές	15-20	17,5
Ροδιές	7-10	8,5
Ροδοκινιά	15-20	17,5
Ροδοκινιά για μεταποίηση	15-20	17,5
Σίκαλη	8-12	10
Σιτάρι	12-16	14
Συκιές νωπές	-	0
Φυστικιές Αιγίνης	15-20	17,5
Φυστικιές νεαρές	3-5	4

Πίνακας 12: Εφαρμοζόμενες αζωτούχες λιπάνσεις

7.2 Διαχειριστικά Σενάρια

Η αντιμετώπιση του προβλήματος της νιτρορύπανσης περιγράφεται στο ΦΕΚ 2001/1422/Β, όπου προτείνεται η μείωση των απαιτήσεων στις επικρατούσες καλλιέργειες όπως φαίνεται παρακάτω :

Καλλιέργεια	Αρχική τιμή Αζώτου (kg/στρ)	Τελική τιμή Αζώτου (kg/στρ)
Αραβόσιτος	28	20
Βαμβάκι	20	7
Ζαχαρότευτλα	25	14
Σιτηρά	13	3

Πίνακας 13: Απαιτήσεις Λιπάνσεων (Πηγή : ΦΕΚ 2001/1422/Β)

Στη παρούσα εργασία οι αρχικές λιπάνσεις υπολογίστηκαν με βάση τον πίνακα της εικόνας 238, δηλαδή ήδη μειωμένες σε σχέση με τις αρχικές του ΦΕΚ.

Τα 2 διαχειριστικά σενάρια που μελετήθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος της νιτρορύπανσης είχαν ως κεντρικό σημείο τις καλλιέργειες και την αλλαγή της εφαρμοζόμενης λίπανσης.

Στο πρώτο σενάριο εφαρμόστηκε μειωμένη φόρτιση στις επικρατούσες καλλιέργειες, όπως προτρέπει το ΦΕΚ, στο 25% του συνόλου αυτών. Αντίστοιχα στο δεύτερο εφαρμόστηκε στο 50% του συνόλου αυτών.

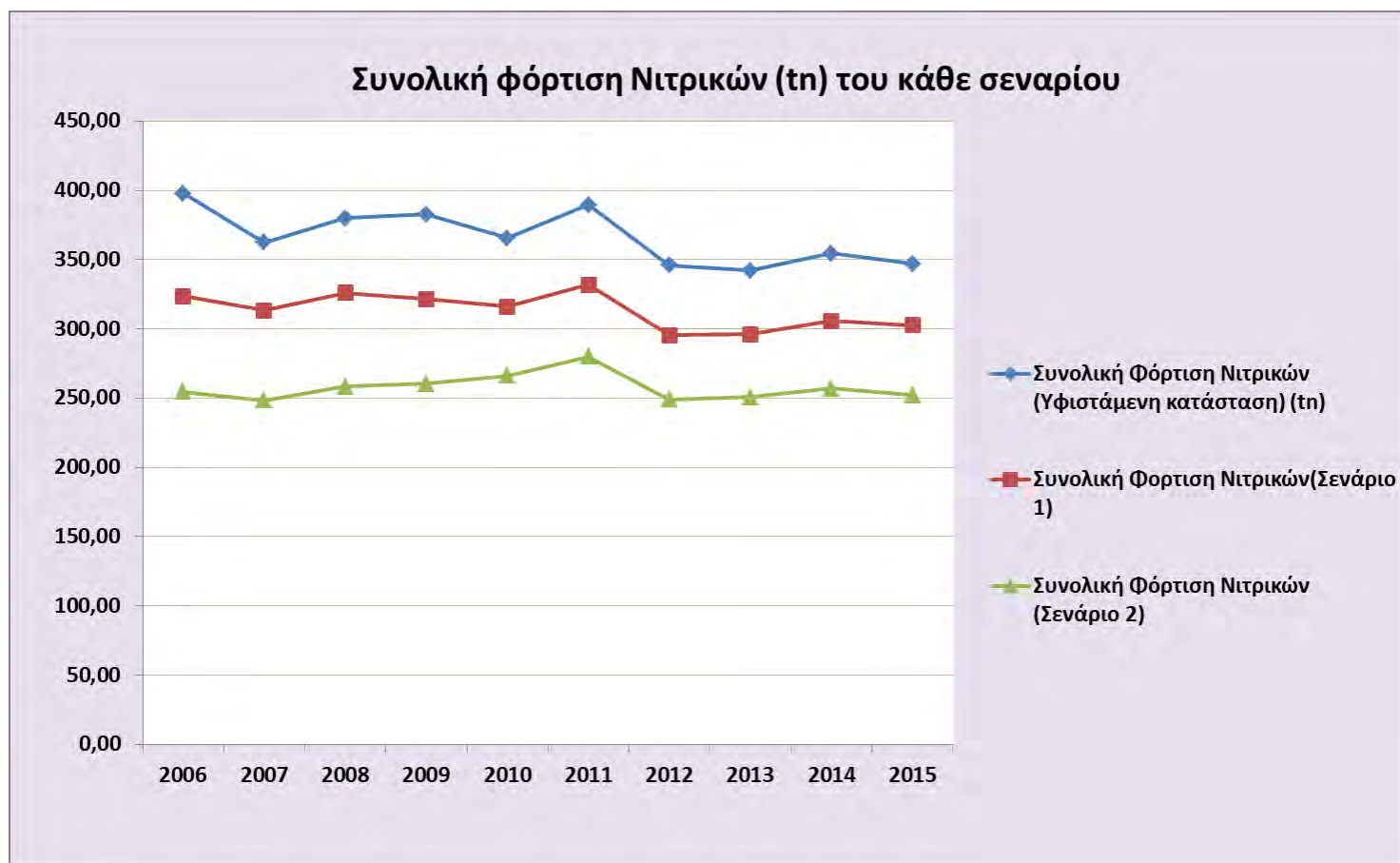
Το πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της υφιστάμενης κατάστασης έκπλυσης νιτρικών για τα έτη από 2006 έως 2015. Με βάση αυτή κατασκευάστηκαν τα σενάρια που παρουσιάζονται παρακάτω συγκεντρωτικά.

Διπλωματική Εργασία

Χρονολογία	Συνολική Φόρτιση Νιτρικών (Υφιστάμενη κατάσταση) (tn)	Συνολική Φορτιση Νιτρικών(Σενάριο 1)	Συνολική Φόρτιση Νιτρικών (Σενάριο 2)
2006	397,89	323,61	254,55
2007	362,56	313,23	248,24
2008	379,78	326,11	258,31
2009	382,80	321,60	260,40
2010	365,60	315,96	266,32
2011	389,41	331,79	279,90
2012	345,92	295,36	249,03
2013	342,16	296,29	250,68
2014	354,64	305,77	256,86
2015	346,96	302,64	252,25

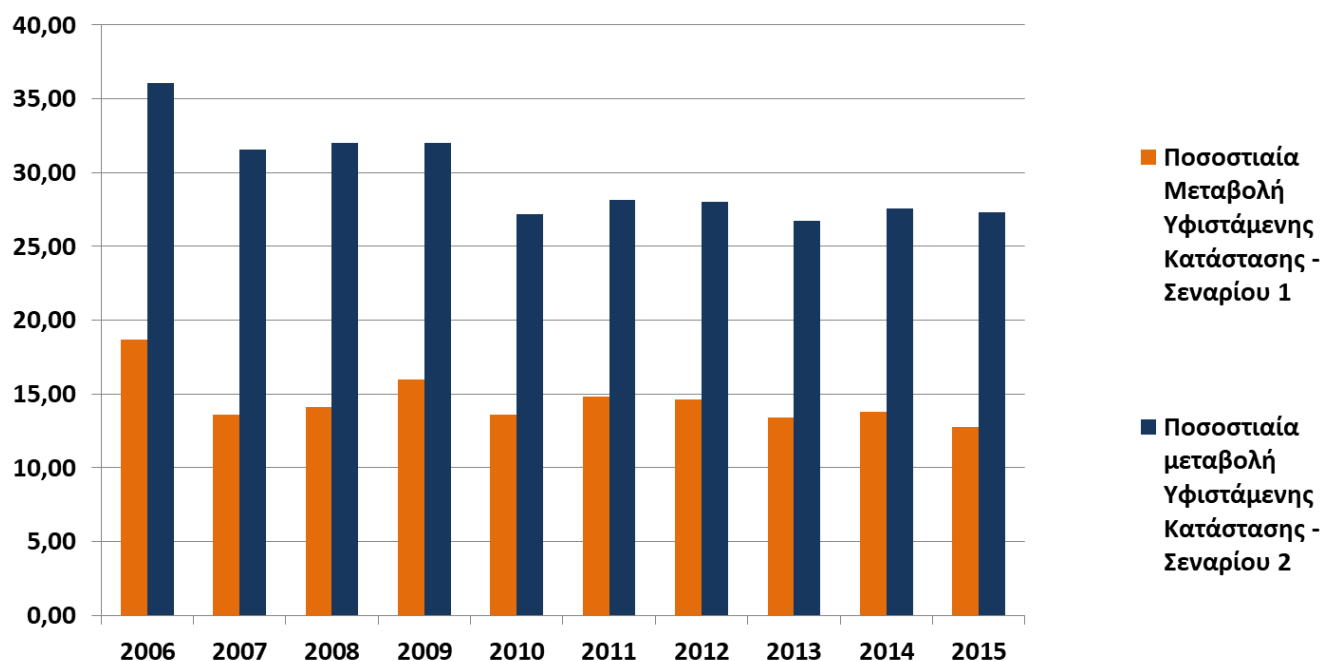
Πίνακας 14: Συνολική Φόρτιση Νιτρικών

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται πόση ήταν η φόρτιση των νιτρικών στην αρχική κατάσταση και πως διαμορφώθηκε μετά τα 2 σενάρια. Ακολουθεί και αντίστοιχο γράφημα καθώς και γράφημα που δείχνει την ποσοστιαία μεταβολή της συνολικής φόρτισης συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.



Εικόνα 95: Γράφημα συνολικής φόρτισης Νιτρικών

Ποσοστιαία μείωση Ποσότητας Νιτρικών

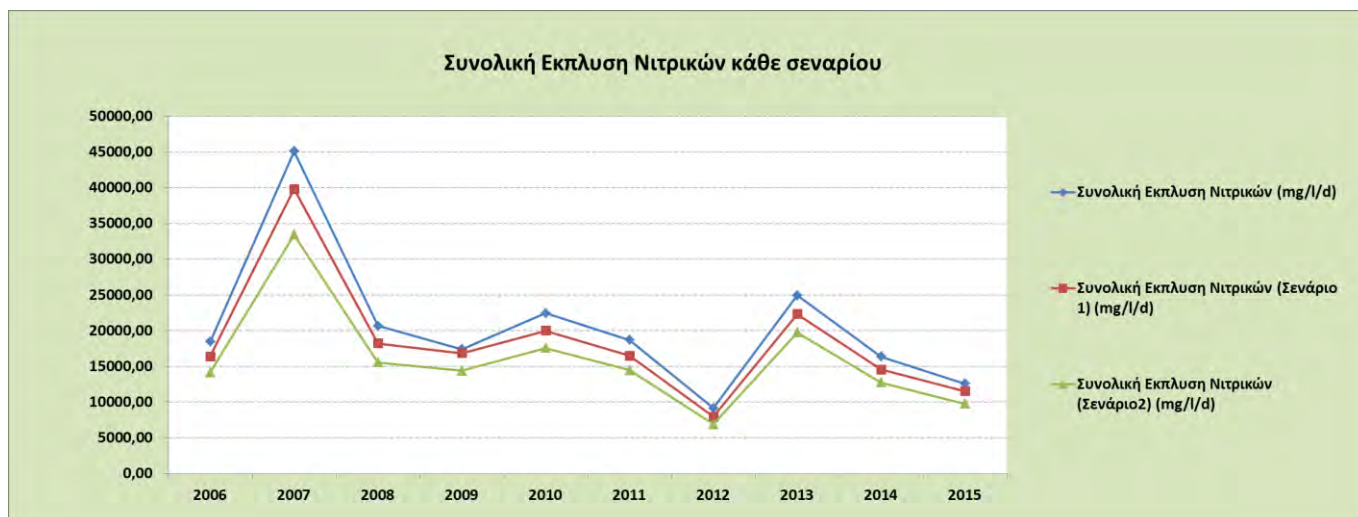


Εικόνα 96: Ποσοστιαία μείωση Ποσότητας Νιτρικών

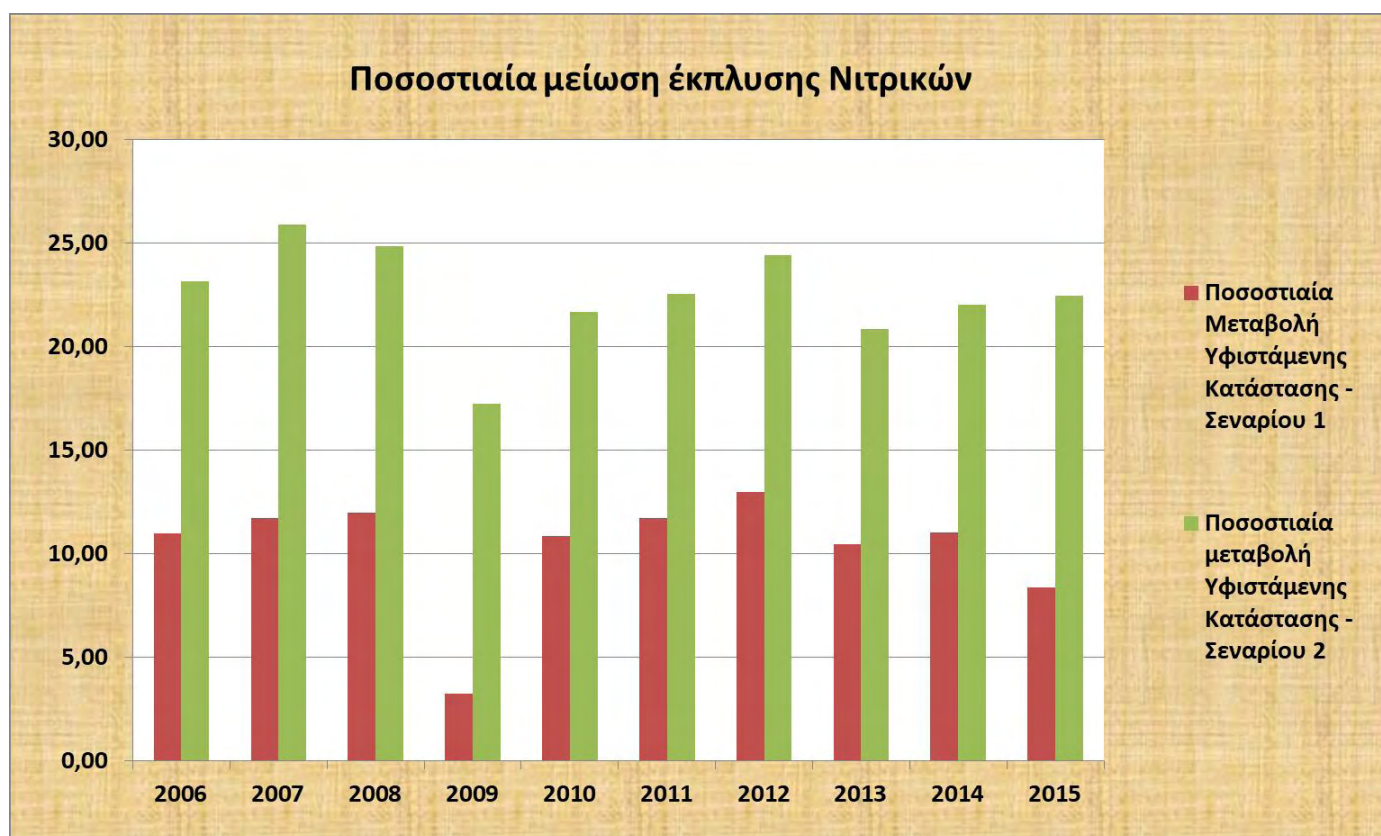
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα για την συνολική έκπλυση νιτρικών.

Χρονολογία	Συνολική Εκπλυση Νιτρικών (mg/l/d)	Συνολική Εκπλυση Νιτρικών (Σενάριο 1) (mg/l/d)	Συνολική Εκπλυση Νιτρικών (Σενάριο2) (mg/l/d)
2006	18433,95	16408,31	14166,11
2007	45080,38	39795,60	33409,66
2008	20670,80	18191,80	15536,62
2009	17404,73	16840,00	14401,15
2010	22426,00	19993,05	17560,07
2011	18685,34	16492,42	14470,50
2012	9150,34	7963,97	6915,14
2013	24936,36	22330,64	19738,87
2014	16349,33	14547,48	12745,09
2015	12591,24	11536,99	9764,07

Πίνακας 15: Συνολική Έκπλυση Νιτρικών



Εικόνα 97: Γράφημα συνολικής έκπλυσης νιτρικών κάθε σεναρίου



Εικόνα 98: Ποσοστιαία μείωση έκπλυσης Νιτρικών

Ως συμπέρασμα παρατηρείται μείωση τόσο της έκπλυσης αλλά και της συνολικής φόρτισης και στα 2 σενάρια. Για να καταστεί εφικτή η μείωση της νιτρορύπανσης είναι αναγκαίος ο περιορισμός της λίπανσης ή ακόμα και η

Διπλωματική Εργασία

αλλαγή μέρους των καλλιεργειών με άλλες που έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε άζωτο.

8. Σύνοψη Διπλωματικής εργασίας

Η λεκάνη απορροής του Αλμυρού είναι από τα πιο σημαντικά αγροτικά και κτηνοτροφικά κέντρα του νομού Μαγνησίας, και η βιομηχανική και αγροτική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα μόνο αμελητέα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί. Επίσης στην περιοχή συναντάμε βιότοπους και τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλους. Για όλα τα παραπάνω κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η ποσοτική και η ποιοτική αποτίμηση του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού, κάνοντας χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής (Inverse Distance Weighting, Radial Basis Functions, Topo To Raster) και γεωστατιστικής ανάλυσης (Ordinary Kriging, Simple Kriging, Probability Kriging), με σκοπό τη δημιουργία χαρτών που θα είναι ικανοί να υποδείξουν σε ποια σημεία της περιοχής μελέτης συναντάμε συνθήκες υπεράντλησης (χαμηλές τιμές υδραυλικού φορτίου) αλλά και συνθήκες ποιοτικής υποβάθμισης (υψηλές τιμές χλωριόντων και νιτρικών). Οι παραπάνω μέθοδοι χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης που αναφέρθηκαν και δοκιμάστηκαν δεν όλες το ίδιο ικανές ώστε να περιγράψουν την κατάσταση που επικρατούσε τις χρονικές περιόδους που εξετάσαμε για αυτό και χρησιμοποιήσαμε στατιστικούς δείκτες για την εκλογή των κατάλληλων μεθόδων. Στο τέλος επεξεργάστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια για μια σειρά 10 ετών μεταξύ 2006 και 2015. Μέσω των σεναρίων μελετήθηκε η αλλαγή που θα επιφέρει στην ποσότητα της έκπλυσης νιτρικών μια πιο στοχευόμενη και μειωμένη λίπανση των ήδη υπαρχόντων κύριων καλλιεργειών. Η εφαρμογή τους έδειξε ότι η κατάσταση στον υπόγειο υδροφορέα θα φανεί βελτιωμένη. Τα δεδομένα για την έρευνα συλλέχτηκαν από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. ,για τις υφιστάμενες καλλιέργειες, από το Ι.Γ.Μ.Ε ,για τις γεωτρήσεις που υπάρχουν, καθώς επίσης και από την ΕΜΥ για τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και από το Εμπορικό Επιμελητήριο Μαγνησίας για την οικονομική δραστηριότητα της περιοχής.

8.1 Συνοπτικά συμπεράσματα για την ποσοτική κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού

Για τη μελέτη της ποσοτικής κατάστασης του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής μελέτης για τη χρονική περίοδο 2005-2008 είχαμε στη διάθεση μας 50 σημεία δειγματοληψίας, τα οποία μας παρείχαν ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων μόνο για ορισμένους μήνες ανά έτος. Για αυτούς τους μήνες λοιπόν κατασκευάστηκαν με τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης πιεζομετρικοί χάρτες που δείχνουν τις στάθμες του υδραυλικού φορτίου σε απόλυτο υψόμετρο. Η μέθοδος που είχε τα καλύτερα αποτελέσματα από ποιοτική άποψη (είχε τις πιο ομαλές επιφάνειες) αλλά και από μαθηματικής άποψης (τα μικρότερα στατιστικά σφάλματα) ήταν η μέθοδος Simple Kriging με αφαίρεση τάσης 2^{ου} Βαθμού (Simple Kriging Trend Remove). Η μαθηματική επαλήθευση για την ορθότητα των μεθόδων έγινε με την μέθοδο Cross Validation που βασίζεται στο γεγονός ότι οι τιμές που προβλέπει η κάθε μέθοδος για το κάθε σημείο δειγματοληψίας στον τελικό χάρτη, θα πρέπει να είναι ίδιες με την αρχική μέτρηση. Ανάλογα με το πόσο αποκλίνουν οι τιμές μεταξύ τους έτσι διαμορφώνονται τα σφάλματα και μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την ορθότητα της μεθόδου. Οι υπόλοιπες μέθοδοι που αναφέραμε στις περισσότερες περιπτώσεις αποτύγχαναν να προσεγγίσουν τις μέγιστες τιμές των μετρήσεων, οι οποίες βρίσκονταν στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Παρόλα αυτά απ' όλους τους χάρτες μπορούσαμε να διακρίνουμε την διεύθυνση του υπόγειου νερού που ήταν από τα δυτικά στα ανατολικά. Στα ανατολικά παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου σε απόλυτο υψόμετρο που σε ορισμένες περιπτώσεις αυτές οι τιμές ήταν αρνητικές, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τέλος κάνοντας χρήση του εργαλείου Map Algebra που μας έδωσε τη δυνατότητα να κάνουμε πράξεις με τους χάρτες που δημιουργήσαμε, επιλέξαμε έναν χάρτη που να ανήκει στην υγρή περίοδο και έναν από την ξηρή και υπολογίσαμε την ποσοστιαία μεταβολή της στάθμης. Έτσι διαπιστώσαμε πως μεταβάλλεται η στάθμη ανάμεσα στην υγρή και την ξηρή περίοδο και παρατηρήθηκε πτώση της στάθμης στην ξηρή περίοδο όπως ήταν αναμενόμενο.

8.2 Συνοπτικά συμπεράσματα για την ποιοτική κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού

Για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης για το διάστημα 2005-2008 είχαμε στη διάθεση μας 30 σημεία δειγματοληψίας τα οποία μας παρείχαν μετρήσεις για ορισμένους μήνες ανά έτος. Για αυτούς τους μήνες έγινε χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστικής ανάλυσης για να κατασκευαστούν χάρτες οι οποίοι θα είναι ικανοί να μας παρουσιάσουν τις τιμές των συγκεντρώσεων των ρύπων που εξετάσαμε (νιτρικά , χλωριόντα). Οι μέθοδοι Kriging δεν είχαν καλά αποτελέσματα και από ποιοτικής άποψης αλλά και από μαθηματικής άποψης καθώς τα σφάλματα ήταν πολύ υψηλά ενώ και οι επιφάνειες δεν ήταν πάντα ομαλές. Η κύρια αδυναμία των μεθόδων Kriging ήταν ότι τα αποτελέσματα δεν προσέγγιζαν τις μέγιστες τιμές των μετρήσεων, γεγονός που δεν είναι αποδεκτό γιατί οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων μας δείχνουν σε ποια σημεία οι συγκεντρώσεις των ρύπων που εξετάζουμε ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια. Οι μέθοδοι Radial Basis Functions, Inverse Distance Weights σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσίασαν ικανοποιητικούς χάρτες με ομαλές επιφάνειες και σχετικά μικρά σφάλματα αλλά σε γενικές γραμμές παρουσίαζαν την ίδια αδυναμία με τις μεθόδους Kriging, δηλαδή δεν παρουσίαζαν τις μέγιστες τιμές των μετρήσεων. Η μόνη μέθοδος που τα αποτελέσματά της είχαν σχετικά μικρά σφάλματα σε συνδυασμό με χάρτες με ομαλές επιφάνειες ήταν η Topo To Raster καθώς ήταν σε θέση να παρουσιάσει τις μέγιστες τιμές των μετρήσεων και να εντοπίσουμε σε ποια σημεία η συγκέντρωση του ρύπου ξεπερνάει τις επιτρεπτές τιμές αλλά και πόσο αυξημένη μπορεί να είναι η τιμή της συγκέντρωσης ώστε να αξιολογήσουμε το μέγεθος του προβλήματος. Τέλος η μέθοδος Probability Kriging παράγει χάρτες πιθανοτήτων, που εντοπίζει τα σημεία που υπάρχει αυξημένη πιθανότητα ο ρύπος να ξεπεράσει την επιτρεπτή τιμή. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων που εφαρμόστηκε η μέθοδος Probability Kriging συνέκλινε με τις υπόλοιπες μεθόδους, και εύστοχα μας υποδείκνυε τις περιοχές που εμφανίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπου. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις χλωριόντων παρατηρούνται αυξημένες τιμές στα ανατολικά τμήματα της περιοχής μελέτης

που σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνουν ακόμα και τα 1000 mg/l και ο λόγος που συναντάμε τόσο υψηλές συγκεντρώσεις είναι ότι το ανατολικό τμήμα βρέχεται από την θάλασσα. Αν συνδυάσουμε τις υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων στο ανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης με το γεγονός ότι βρέχεται από τη θάλασσα, αλλά και με ότι όπως είδαμε στο κεφάλαιο της ποσοτικής μελέτης σε αυτά τα σημεία παρουσιάζονται αρνητικές τιμές πιεζομετρικού φορτίου, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το θαλάσσιο νερό έχει διεισδύσει στον υπόγειο υδροφόρα. Τέλος όσον αφορά τις συγκεντρώσεις νιτρικών παρατηρείται ότι ο υπόγειος υδροφόρας είναι επιβαρυνμένος με τιμές που ξεπερνούν σε ορισμένες περιπτώσεις κατά πολύ το επιτρεπτό όριο ιδιαίτερα στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης πράγμα που ήταν αναμενόμενο λόγω της έντονης αγροτικής δραστηριότητας.

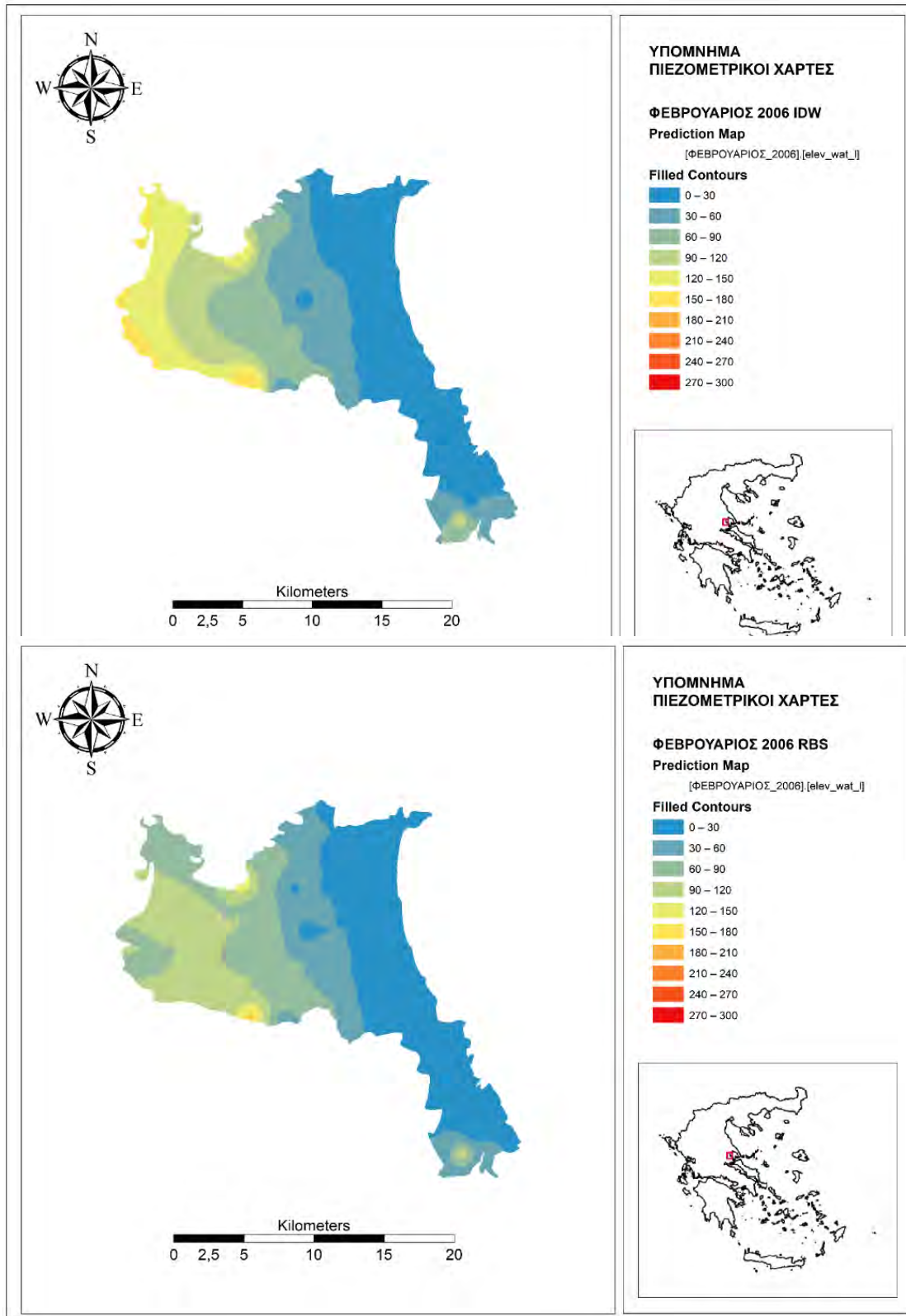
8.3 Συνοπτικά Συμπεράσματα για τα διαχειριστικά σενάρια

Για την υφιστάμενη κατάσταση για τα χρόνια 2006 έως 2015, δημιουργήθηκαν δύο διαχειριστικά σενάρια, τα οποία σχετίζονται με τις αζωτούχες λιπάνσεις των καλλιεργειών, με βάση το ΦΕΚ. Σε αυτό αναφέρονται ποιες θεωρούνται κύριες καλλιέργειες. Βασικό στοιχείο στη μελέτη είναι ότι θεωρείται ότι η κατανομή των καλλιεργειών θα διατηρήσει ένα σταθερό μοτίβο και τα αμέσως επόμενα χρόνια, και τα μόνα που θα μεταβληθούν θα είναι οι κύριες τέσσερις καλλιέργειες. Στο πρώτο σενάριο εντάχθηκε το 25% των συνολικών κύριων καλλιεργειών ενώ στο δεύτερο το 50%.

Πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της συνολικής φόρτισης νιτρικών για την περιοχή μελέτης και στη συνέχεια η έκπλυση των νιτρικών στο υδατικό σύστημα του Θεσσαλικού πεδίου. Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν οι τιμές έκπλυσης νιτρικών για την υφιστάμενη κατάσταση και για τα δύο μελλοντικά σενάρια. Παρατηρήθηκε βελτίωση της κατάστασης στα δυο αυτά σενάρια και έτσι προτείνεται η μείωση της καλλιέργειας των τεσσάρων αυτών και πιο στοχευόμενα του Βαμβακιού και των Σιτηρών καθώς αυτές είναι που προκαλούν την μεγαλύτερη ρύπανση.

9. Παράρτημα

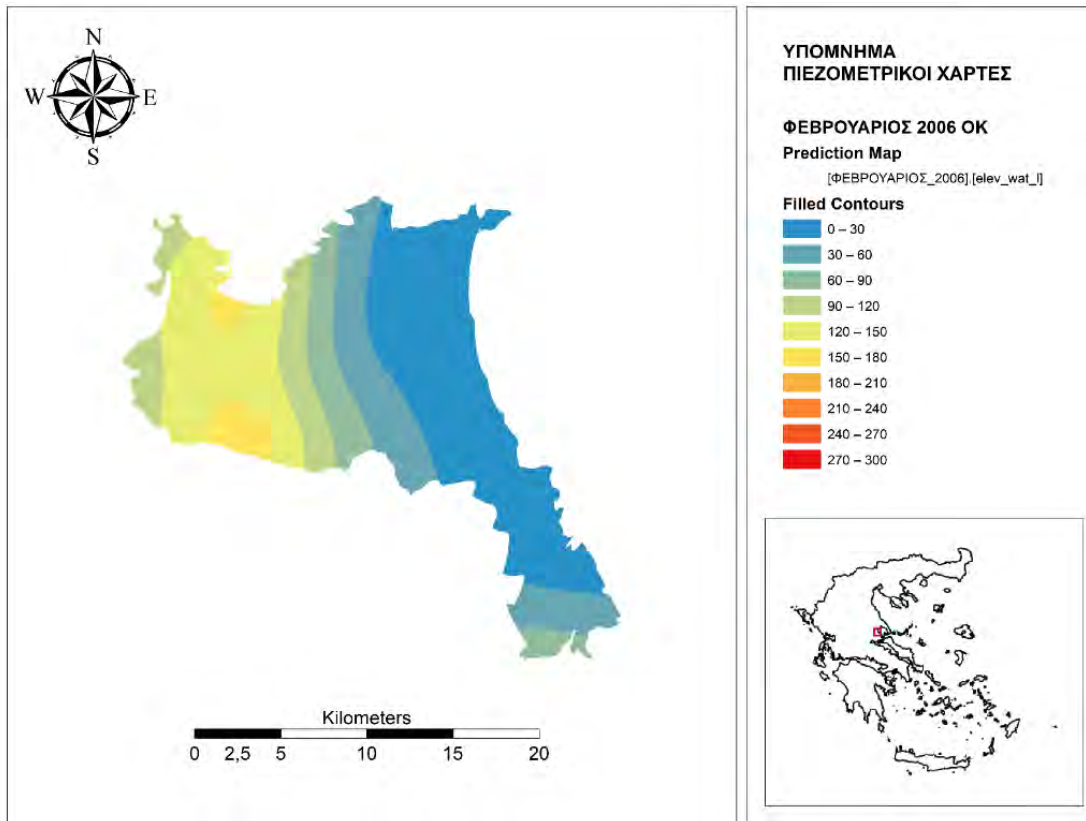
9.1 Πιεζομετρικοί Χάρτες



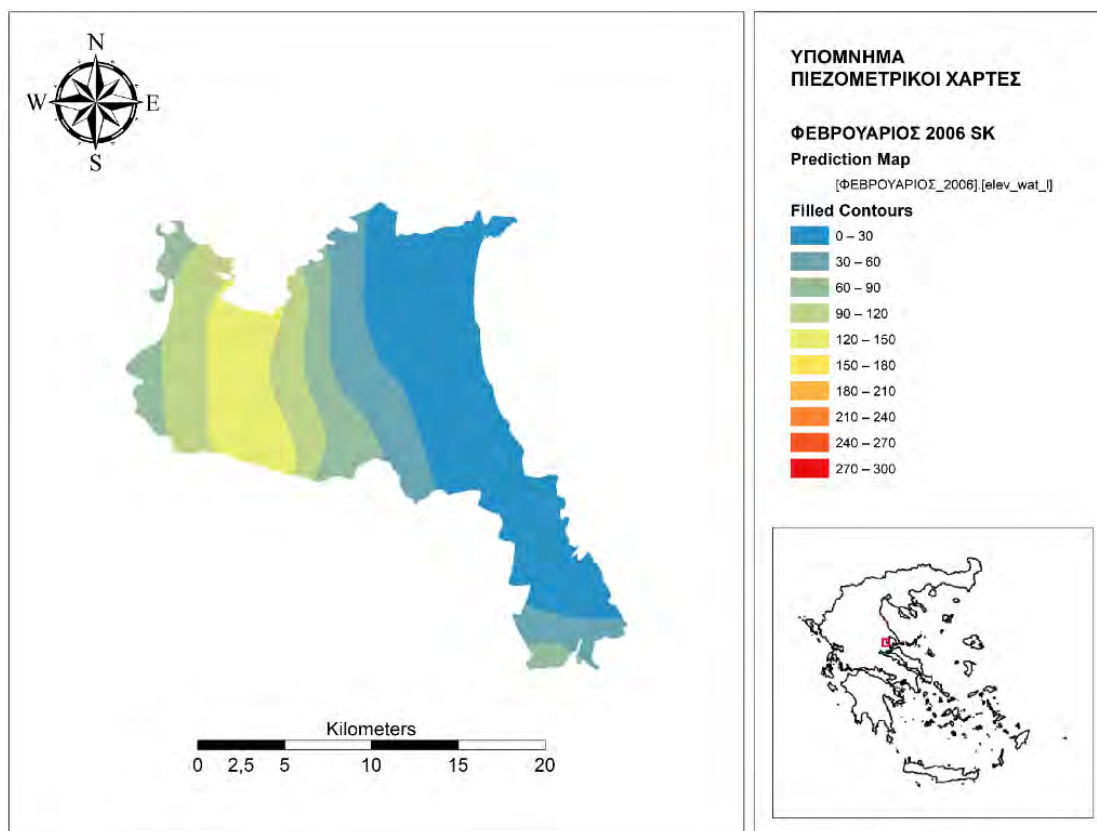
Εικόνα 100:
Πιεζομετρικός
Φεβρουάριος
IDW

Εικόνα 99:
Πιεζομετρικός
χάρτης
Φεβρουάριος
2005 RBS

Διπλωματική Εργασία

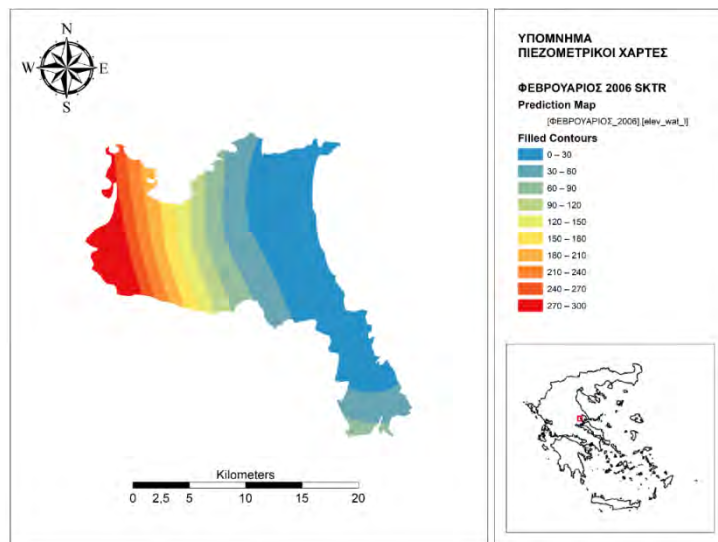


Εικόνα 102:
Πιεζομετρικός
χάρτης
Φεβρουάριος 2006
Ordinary Kriging

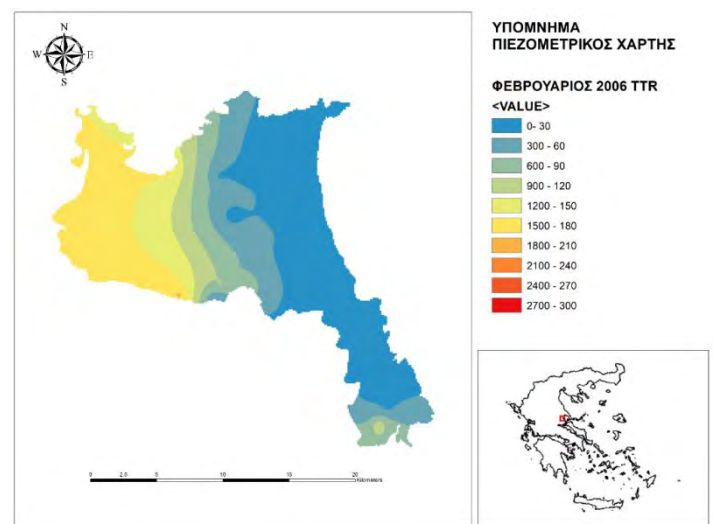


Εικόνα 101:
Πιεζομετρικός
Φεβρουάριος
Simple Kriging
χάρτης
2006

Διπλωματική Εργασία



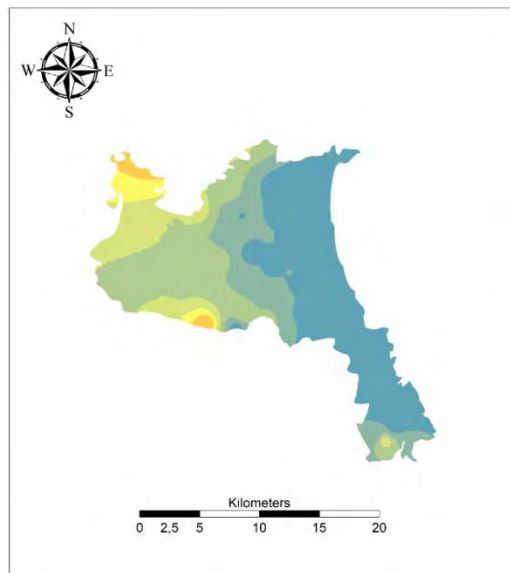
Εικόνα 104: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging Trend Remove



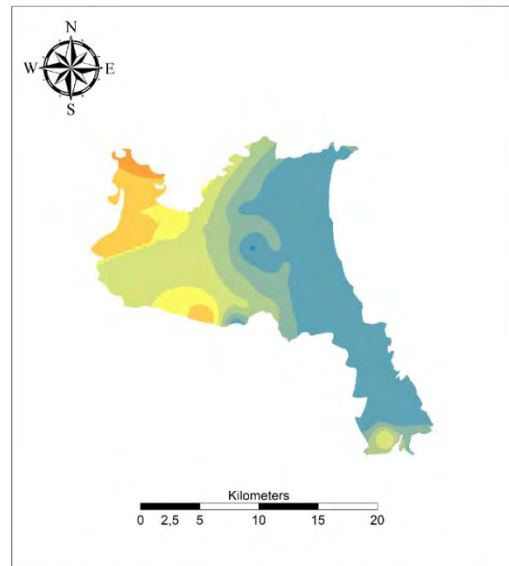
Εικόνα 103: Πιεζομετρικός Χάρτης Φεβρουάριος 2006 Τοπο to Raster

Φεβρουάριος 2006	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-3,93		-2,99	-2,66	-3,69	1,32	-1,56
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	36,23		35,53	34,59	34,27	15,27	28,64
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ		-		24,35	24,73	9,2	21,39
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-		-0,05	-0,1		-0,06
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		-		1,26	1,04		1,35

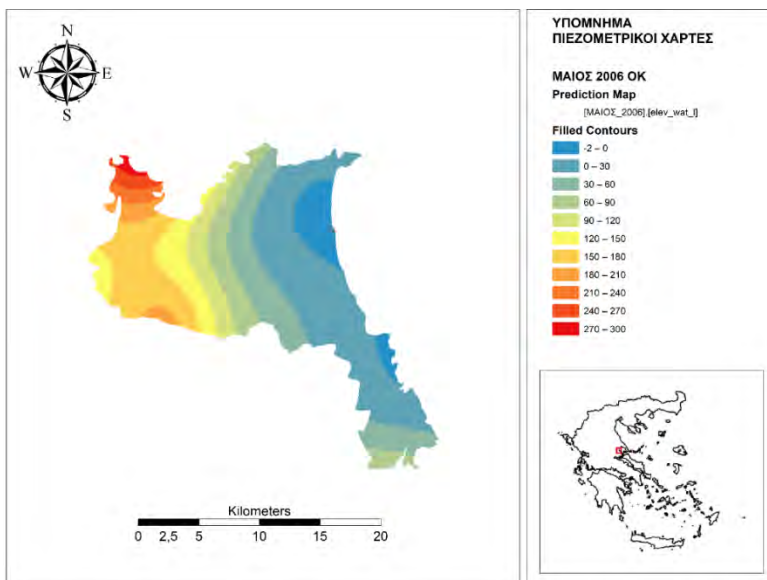
Πίνακας 16: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006



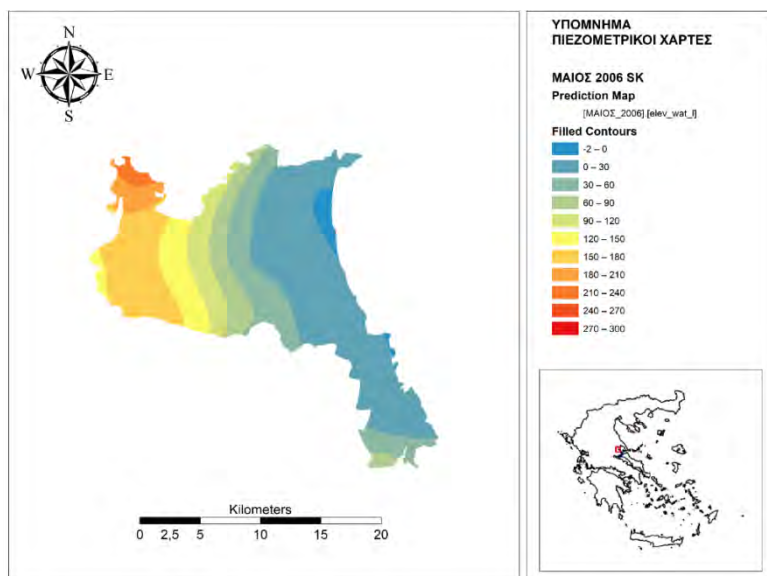
Εικόνα 106: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 IDW



Εικόνα 105: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 RBS

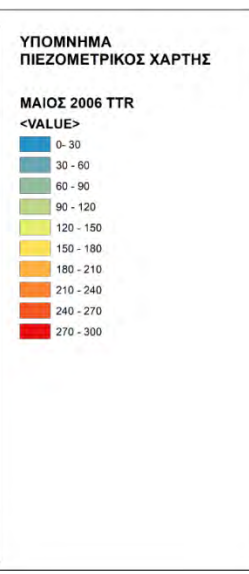
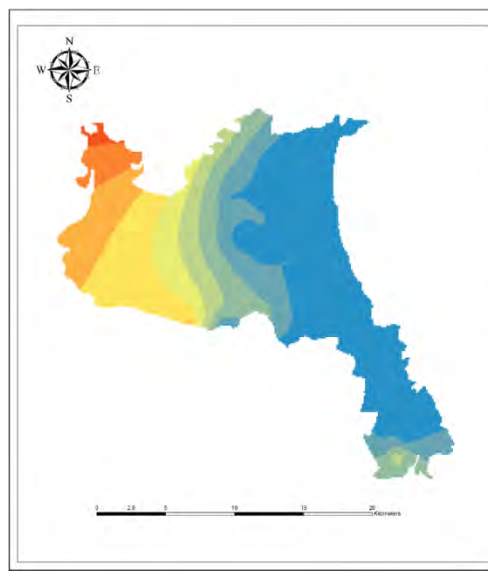
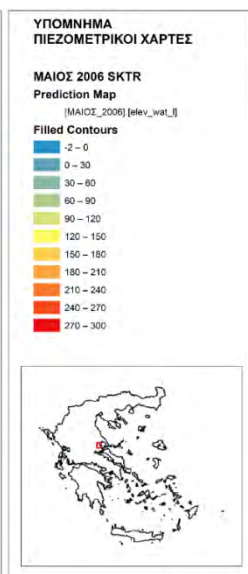
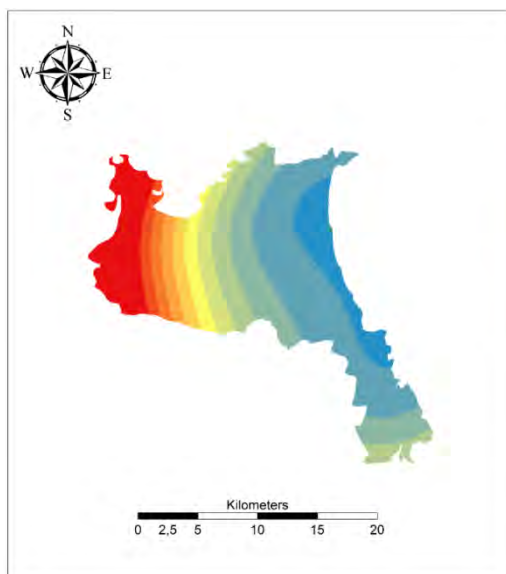


Εικόνα 107: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 108: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



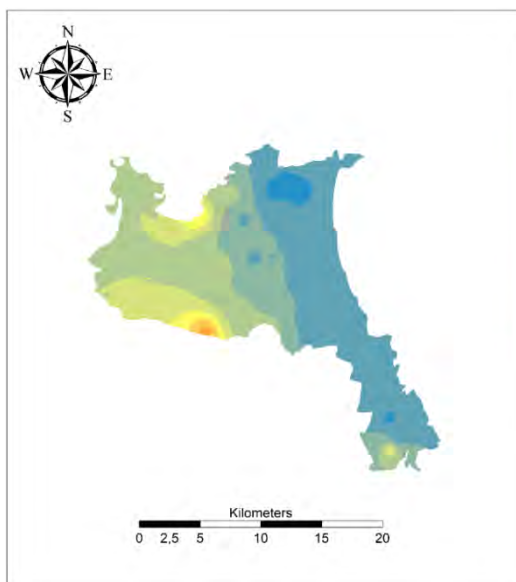
Εικόνα 110: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Simple Kriging Trend Remove

Εικόνα 109: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2006 Topo to Raster

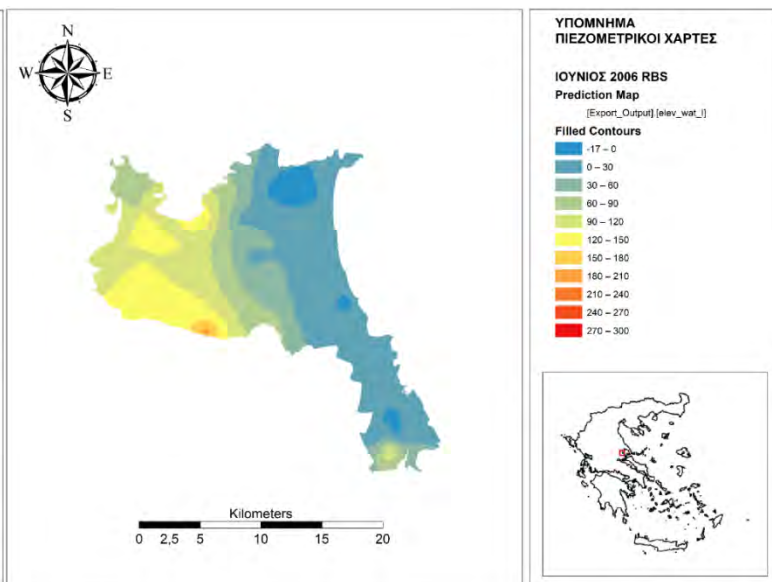
Μάιος 2006	IDW	RBS	OK	SK	TOPO TO RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-6,52	-3,56	-3,09	-4,9	-2,2	-2,05
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	43,89	42,94	38,79	38,41	17,89	33,69
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	24,4	30,1	10,25	23,64
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,07	-0,11	-	-0,06
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,34	1,12	-	1,34

Πίνακας 17: Σφάλματα Μάιος 2006

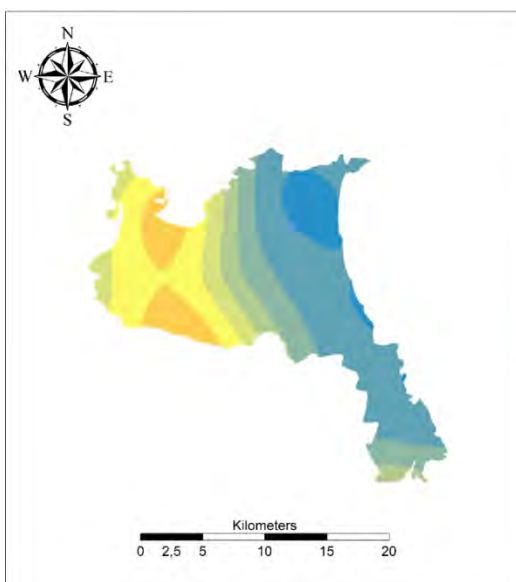
Διπλωματική Εργασία



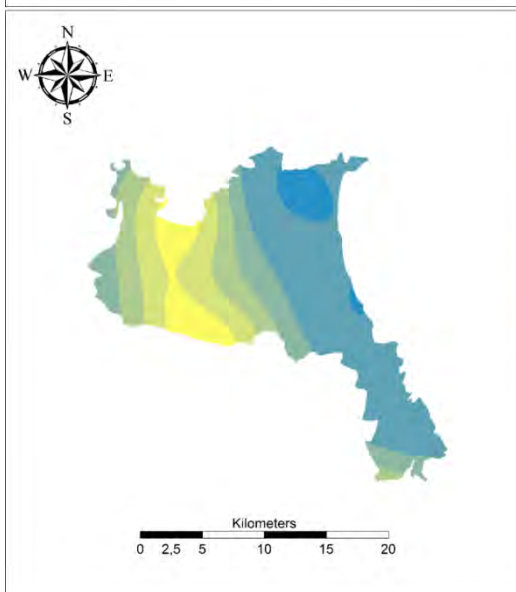
Εικόνα 112: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 IDW



Εικόνα 111: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 RBS

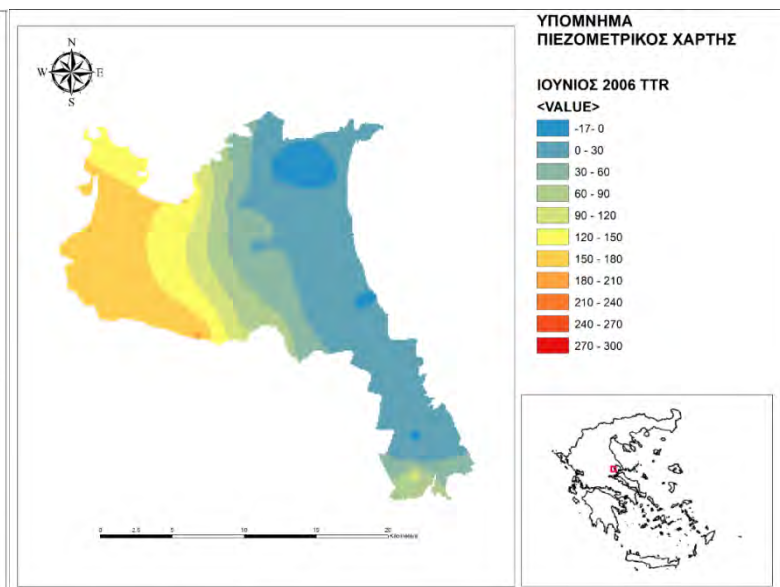
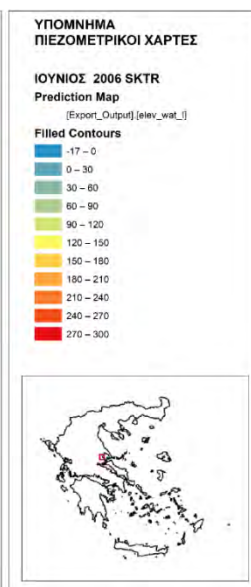
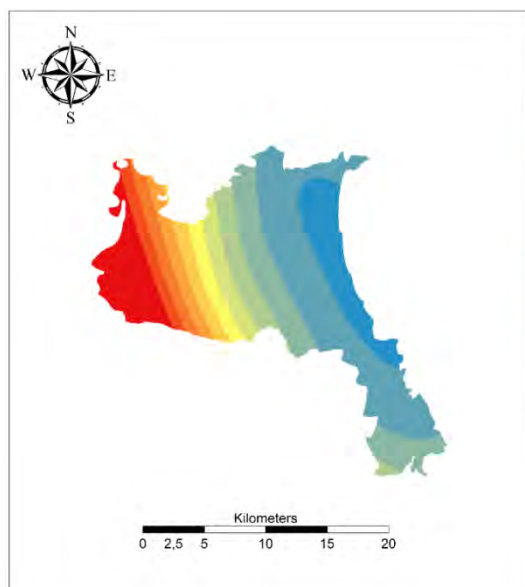


Εικόνα 113: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 114: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία

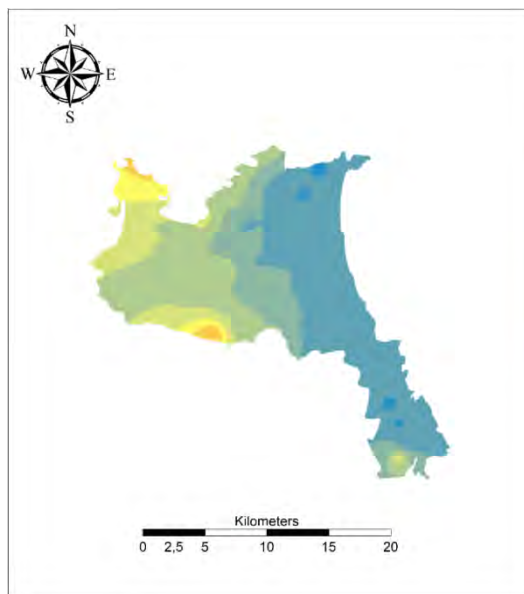


Εικόνα 116: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Simple Kriging Trend

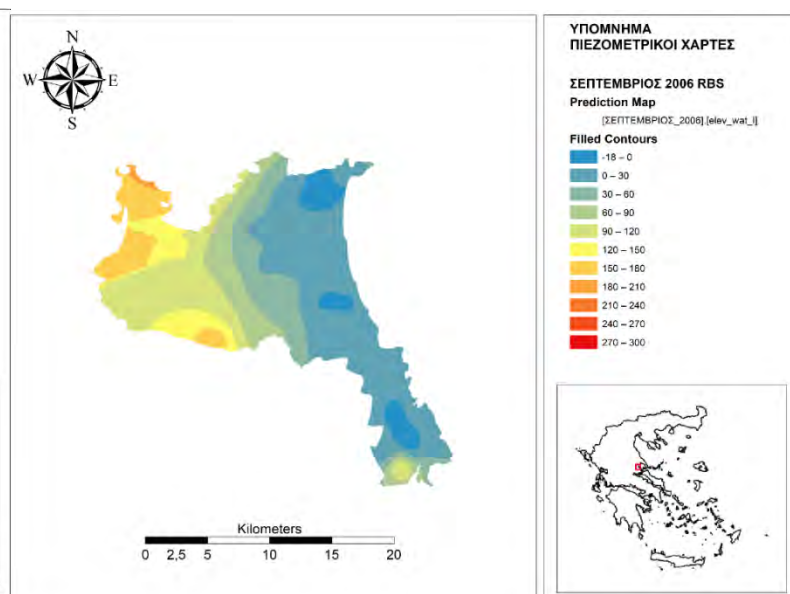
Εικόνα 115: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2006 Topo to Raster

Ιούνιος 2006	IDW	RBS	OK	SK	TOPO TO RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-4,83	-3,15	-3,2	-4,94	2,6	-2,6
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	35,47	33,26	29,88	30,46	16,91	24,5
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	22,8	24,41	9,81	19,04
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,06	-0,12	-	-0,14
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,13	1,17	-	1,28

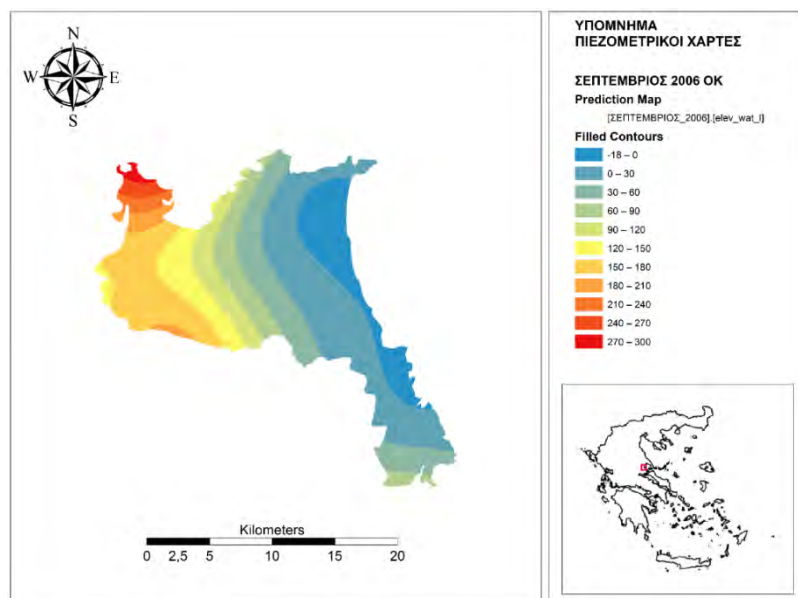
Πίνακας 18: Σφάλματα Ιούνιος 2006



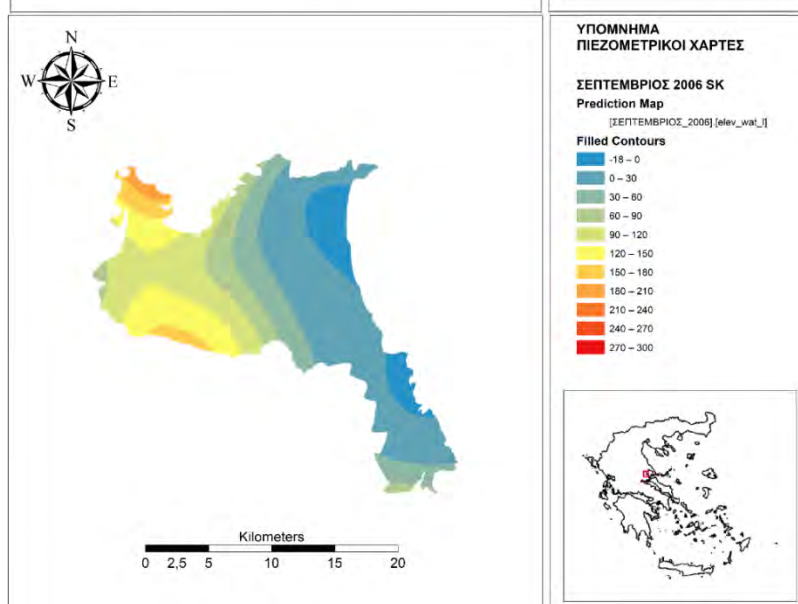
Εικόνα 117: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 IDW



Εικόνα 118: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 RBS

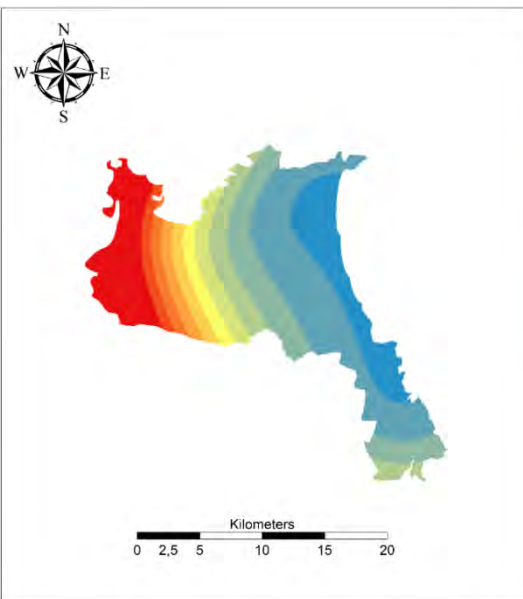


Εικόνα 119: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging

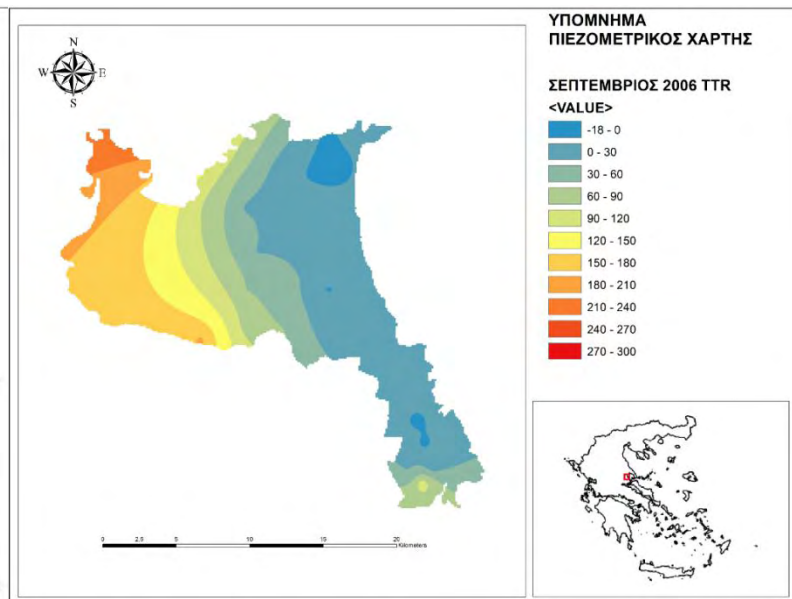


Εικόνα 120: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



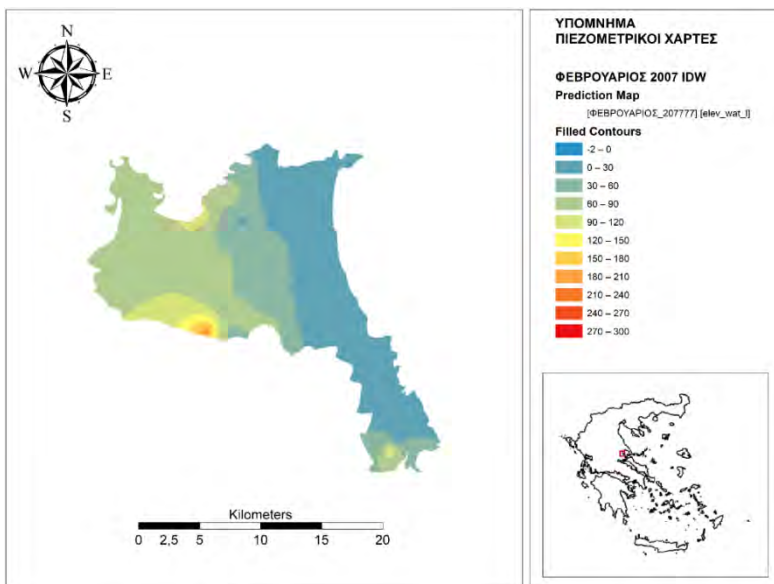
Εικόνα 122: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging Trend Remove



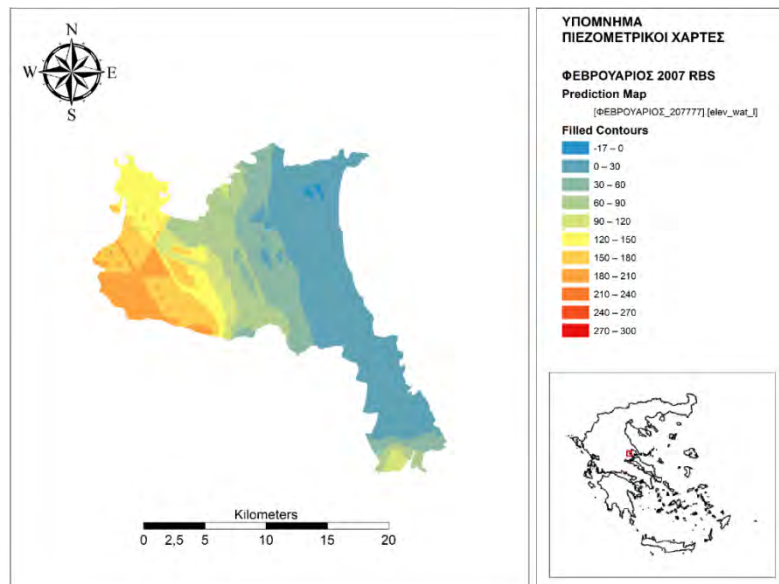
Εικόνα 121: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster

Σεπτέμβριος 2006	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR	
	-						
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	7,048		-3,84	-3,29	-5,29	-2,16	-2,66
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	42,89		40,51	35,44	35,47	18,19	30,59
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ		-		24,32	26,32	10,63	18,47
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-		-0,06	-0,11		-0,09
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		-		1,17	1,1		1,43

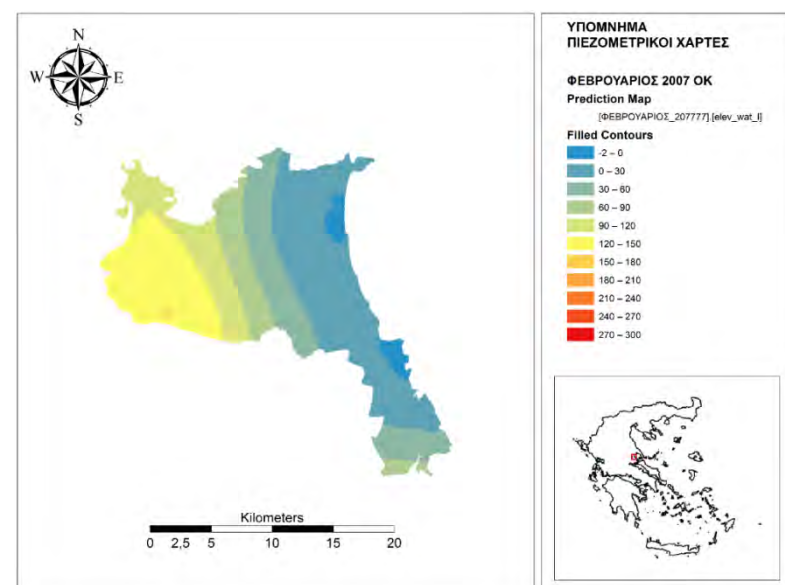
Πίνακας 19: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006



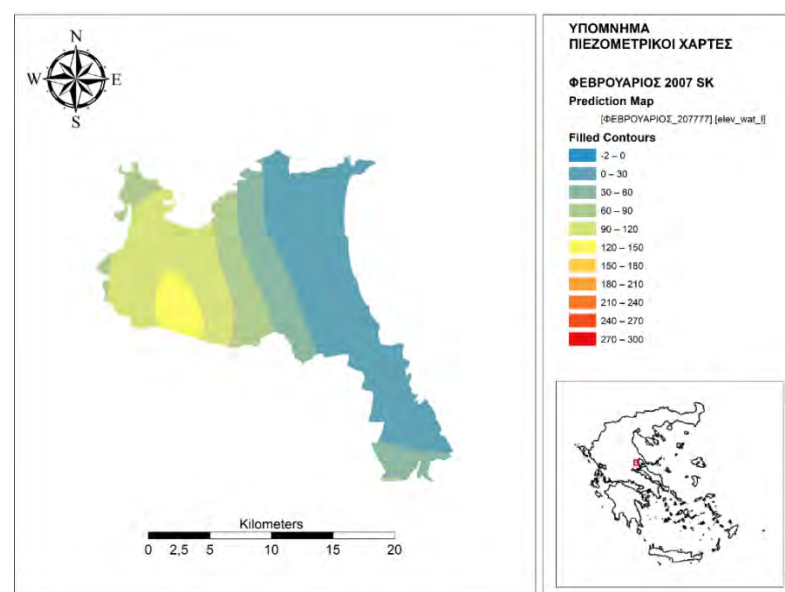
Εικόνα 124: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 IDW



Εικόνα 123: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 RBS

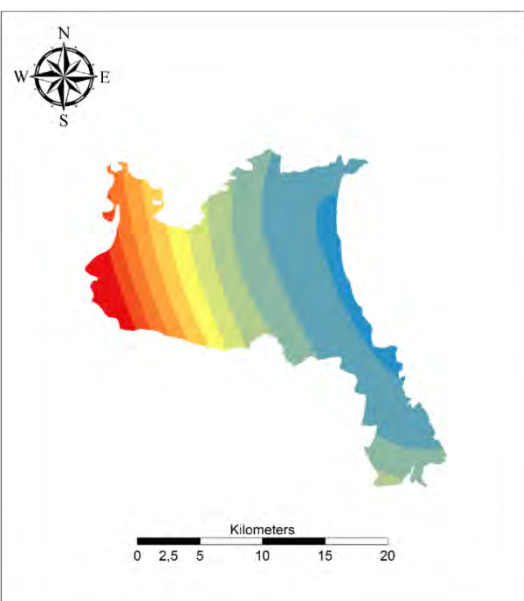


Εικόνα 125: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging

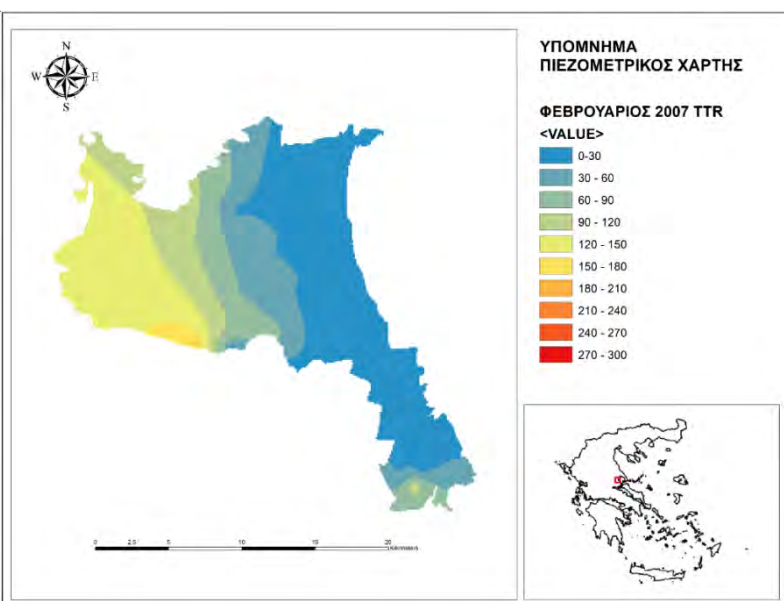


Εικόνα 126: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



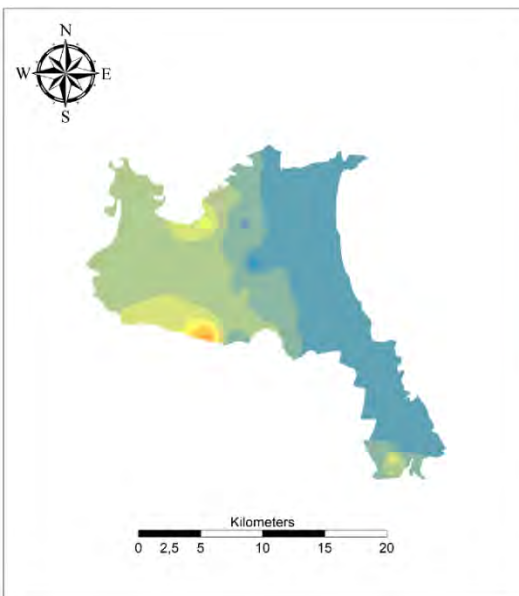
Εικόνα 127: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007
Simple Kriging Trend Remove



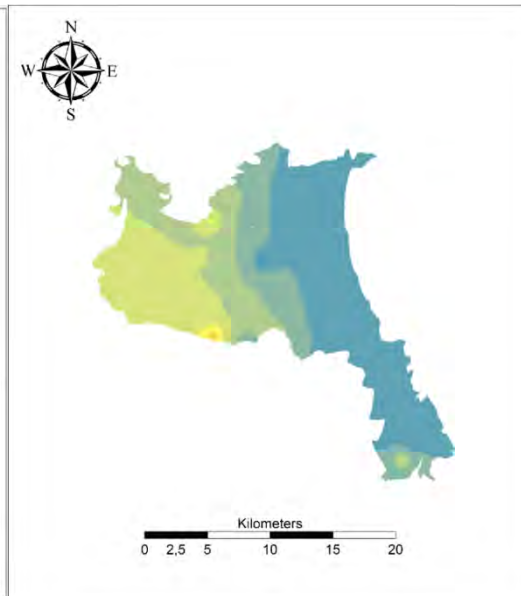
Εικόνα 128: Πιεζομετρικός χάρτης Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster

Φεβρουάριος 2007	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-2,96		-2,22	-1,7	-2,49	-1,78	-0,98
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	33,56		33,11	32,19	32,37	16,53	28,017
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ		-		23,56	-0,09	9,61	17,67
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-		-0,03	-0,09		-0,04
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		-		1,24	1,07		1,56

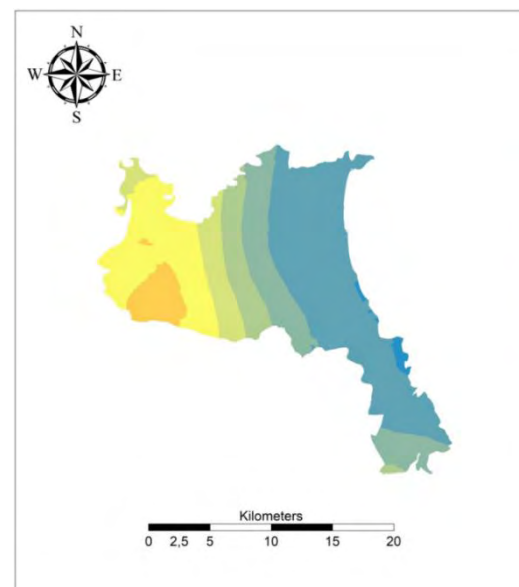
Πίνακας 20: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007



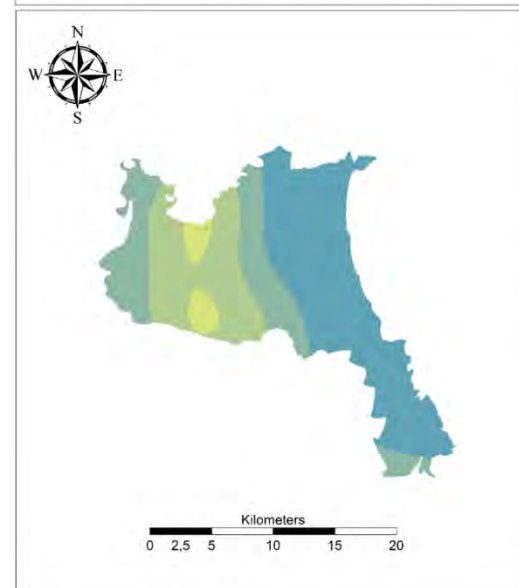
Εικόνα 130: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 IDW



Εικόνα 129: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 RBS

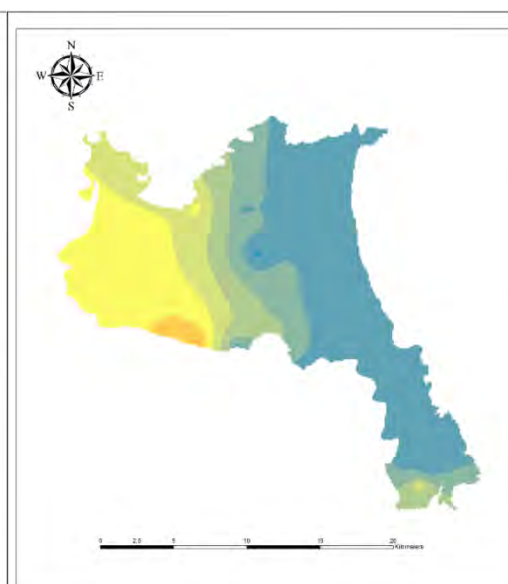
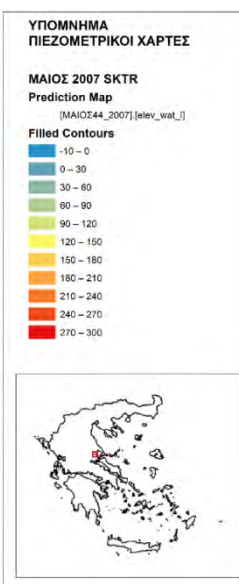
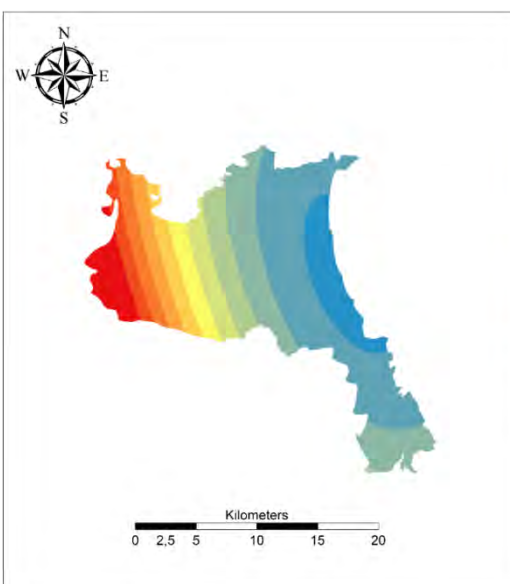


Εικόνα 131: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 132: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία

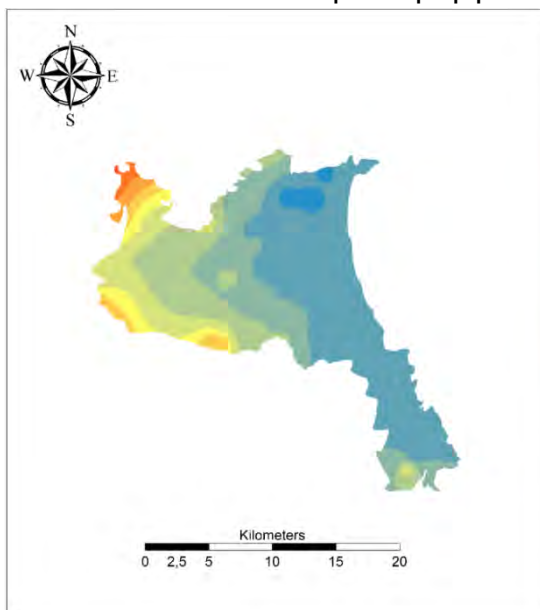


Εικόνα 133: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Simple Kriging Trend Remove

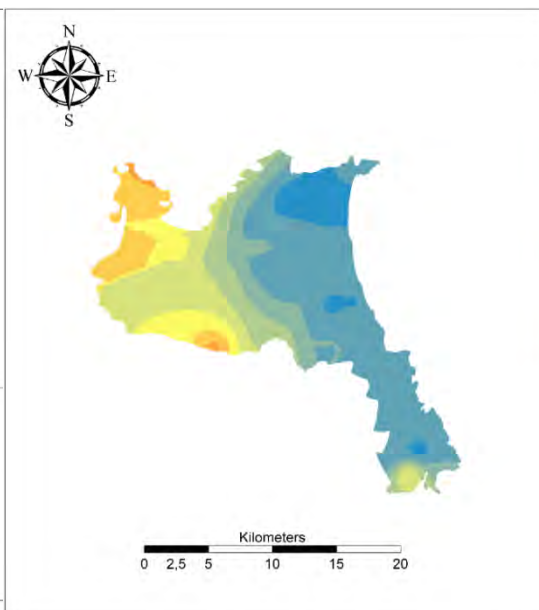
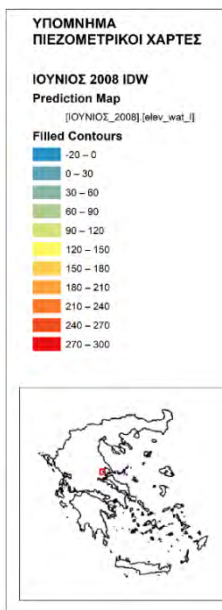
Εικόνα 134: Πιεζομετρικός χάρτης Μάιος 2007 Topo to Raster

Μάιος 2007	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ ΡΑΣΤΕΡ	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-1,75		-1,6	-1,5	-3,2	-2,61 -1,13
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	34,54		34,54	34,77	35,46	14,67 31,81
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ		-	28,23	29,57	10,72	20,84
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,02	-0,09		-0,05
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		-	1,14	1,07		1,52

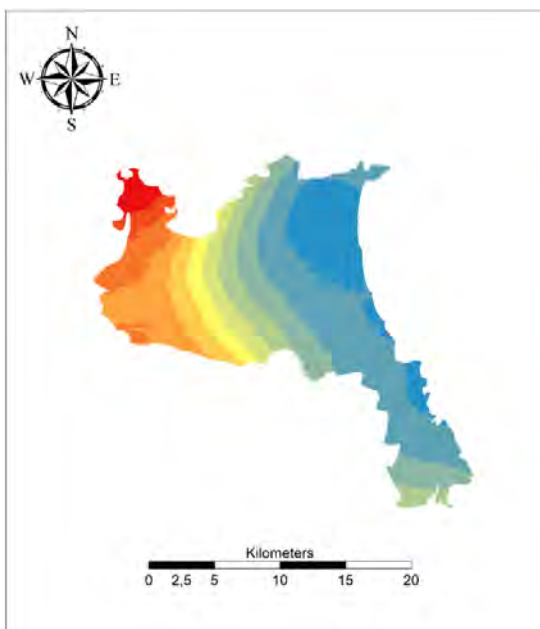
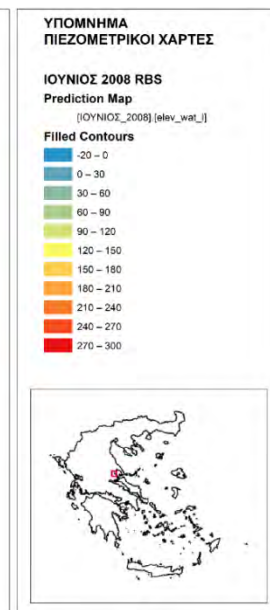
Πίνακας 21: Σφάλματα Μάιος 2007



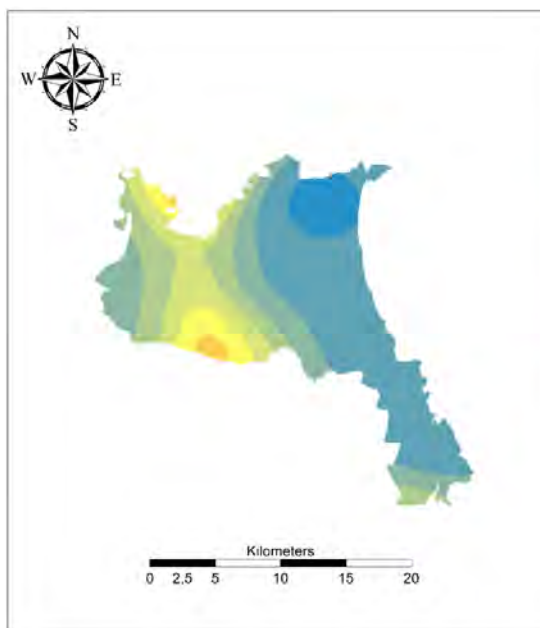
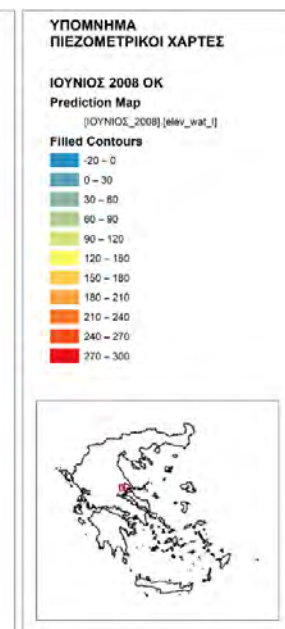
Εικόνα 135: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2008 IDW



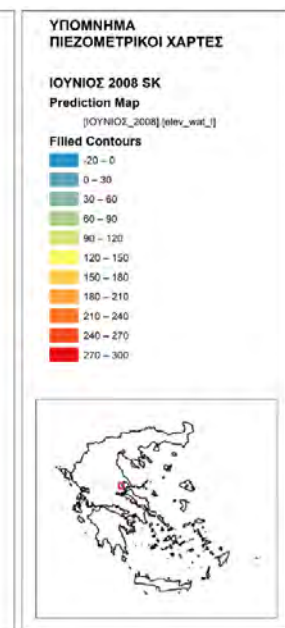
Εικόνα 136: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2008 RBS



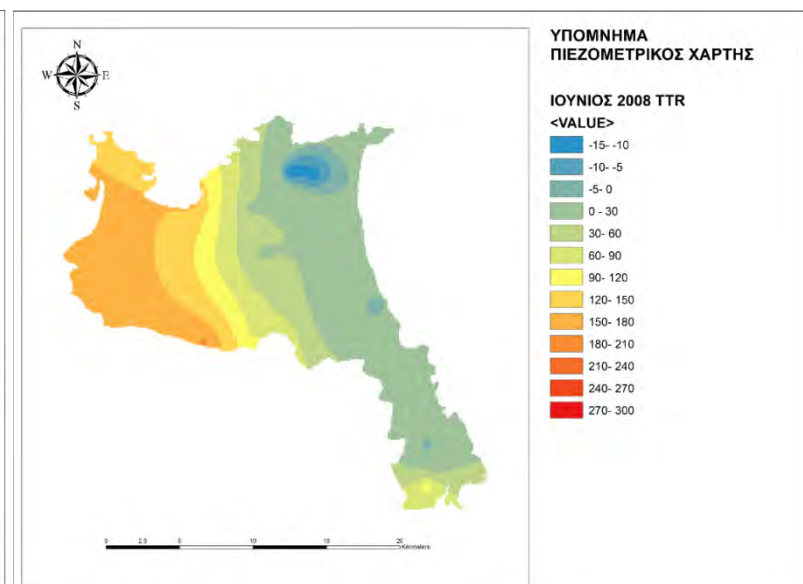
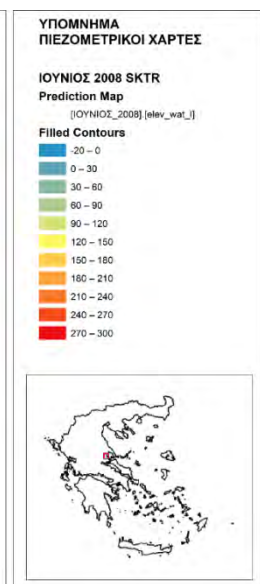
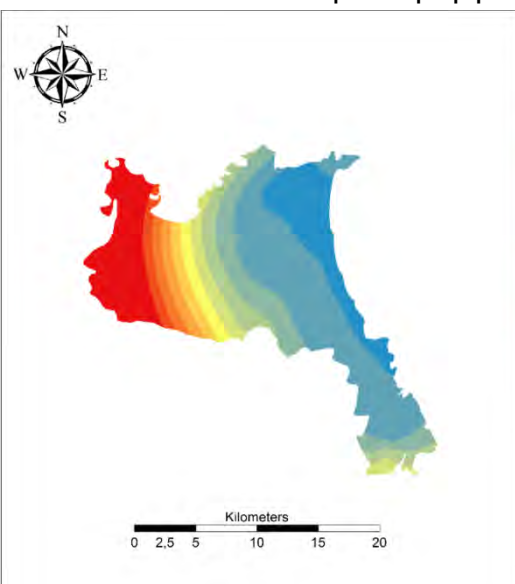
Εικόνα 137: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 138: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούλιος 2008 Simple Kriging



Διπλωματική Εργασία

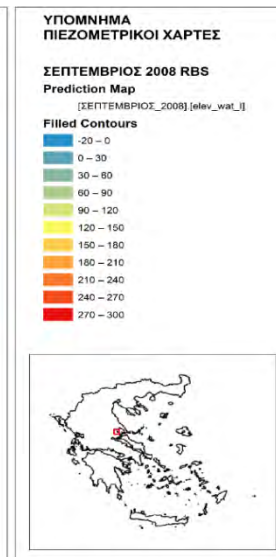
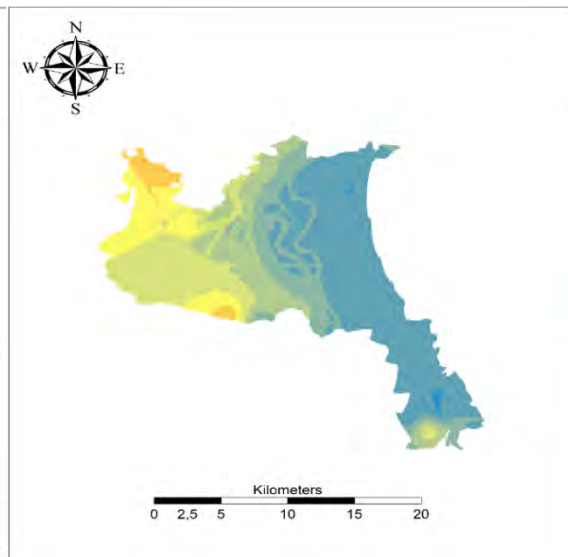
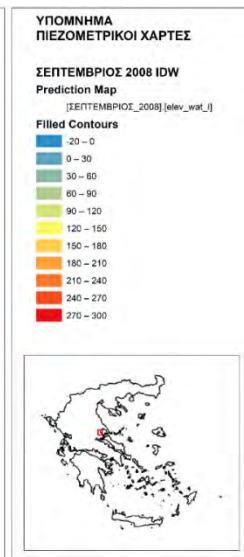
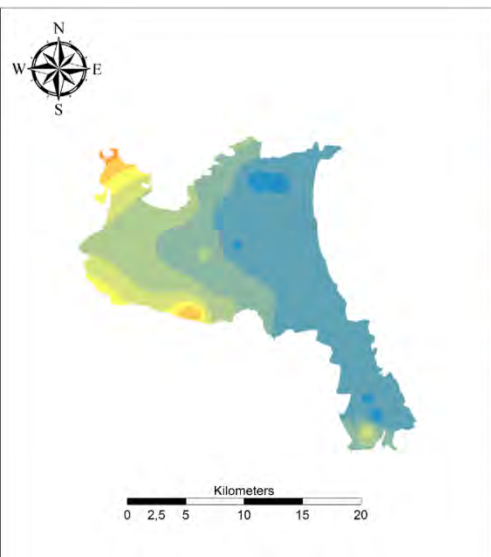


Εικόνα 139: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Simple Kriging Trend

Εικόνα 140: Πιεζομετρικός χάρτης Ιούνιος 2008 Τοπο το Raster

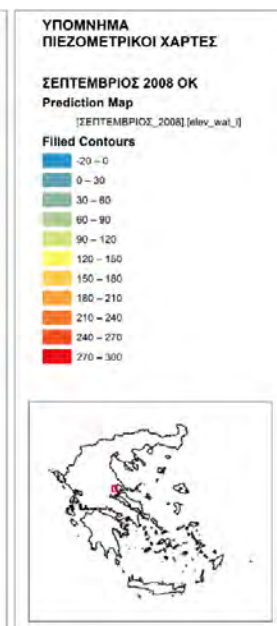
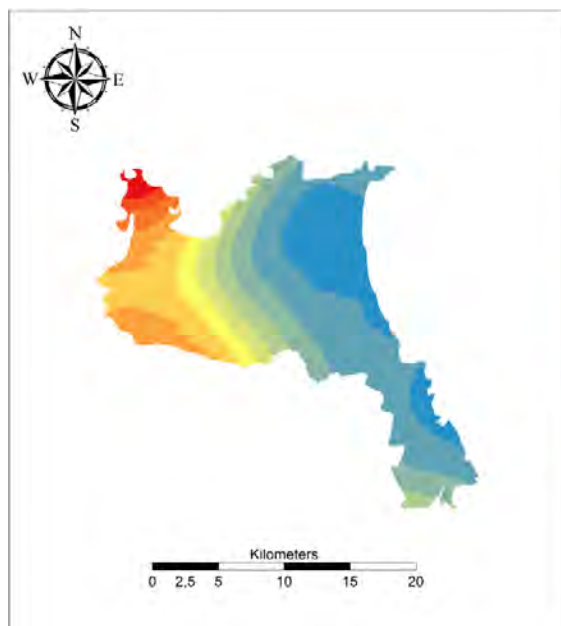
Ιούνιος 2008	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-6,9	-3,76	-2,5	-6,9	1,35	-2,41
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	43,95	40,9	32,98	39,48	14,86	31,66
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	24,39	30,33	9,43	20,22
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,04	-0,14	-	-0,078
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,11	1,11	-	1,38

Πίνακας 22: Σφάλματα Ιούνιος 2008

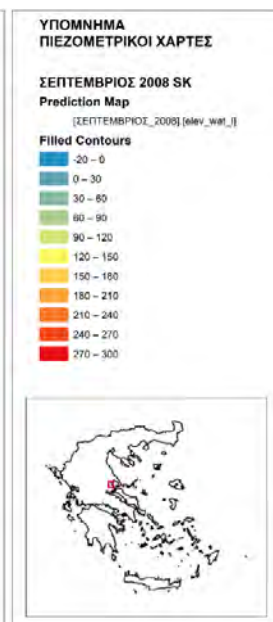
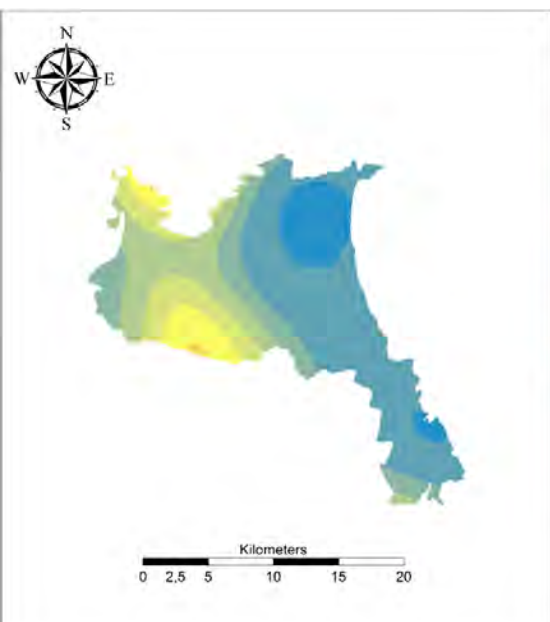


Εικόνα 142: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 IDW

Εικόνα 141: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 RBS

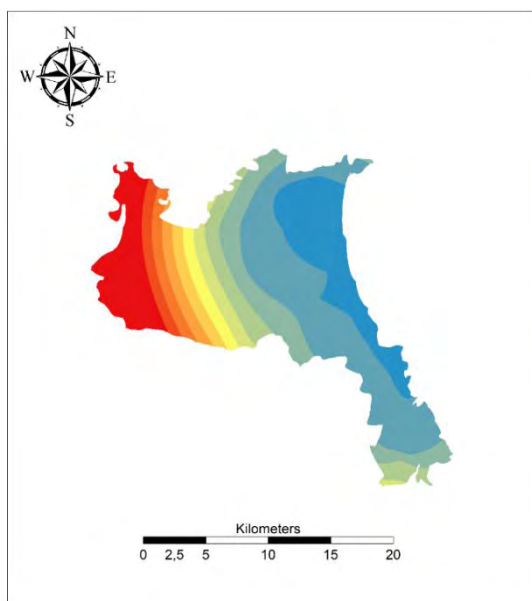


Εικόνα 143: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging

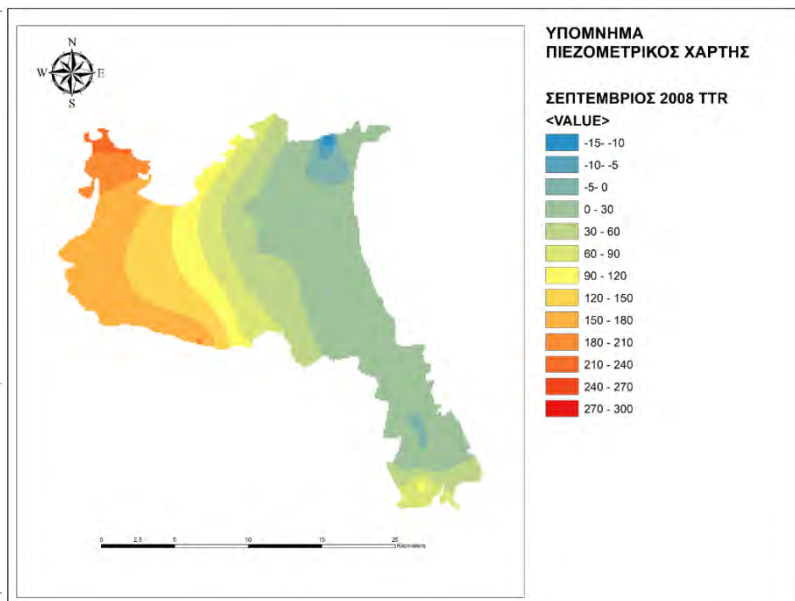


Εικόνα 144: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



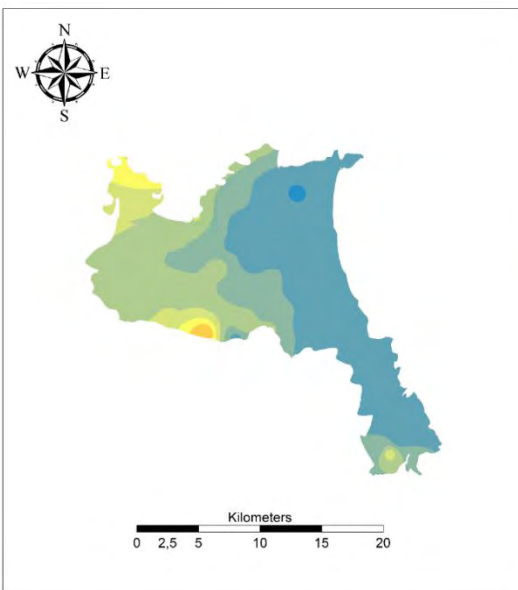
Εικόνα 146: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging Trend Remove



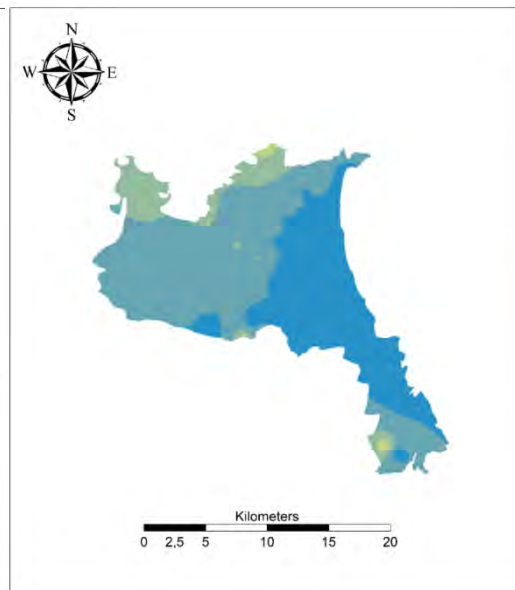
Εικόνα 145: Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster

Σεπτέμβριος 2008	IDW	RBS	OK	SK	TOPO TO RASTER	SKTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-5,88	-4,07	-3,05	-6,2	1,86	-3,07
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	44,17	42,58	37,43	39,49	19,51	34,11
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	24,43	28,58	16,57	22,03
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-	-0,05	-0,15	-	-0,08
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	-	1,26	1,19	-	1,36

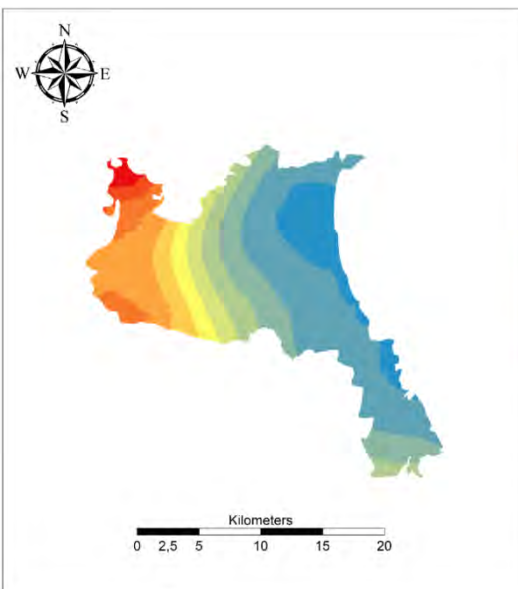
Πίνακας 23: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008



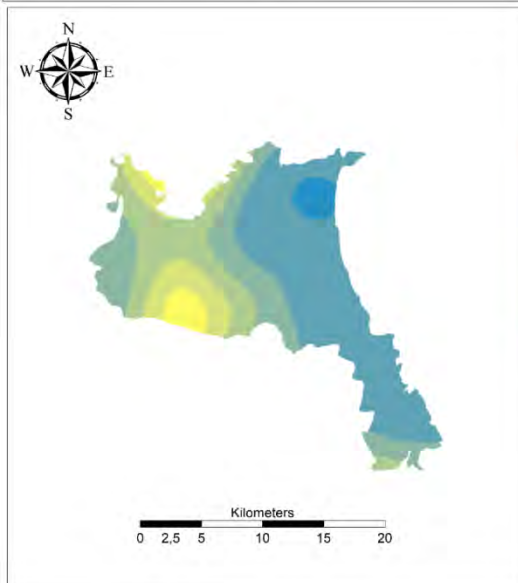
Εικόνα 147: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 IDW



Εικόνα 148: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 RBS

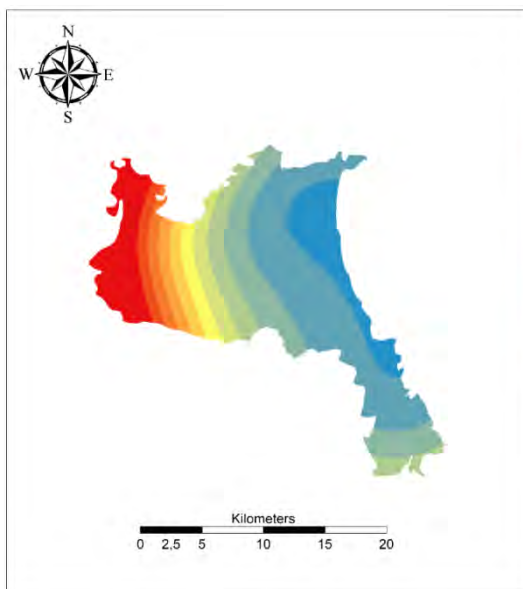


Εικόνα 149: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging

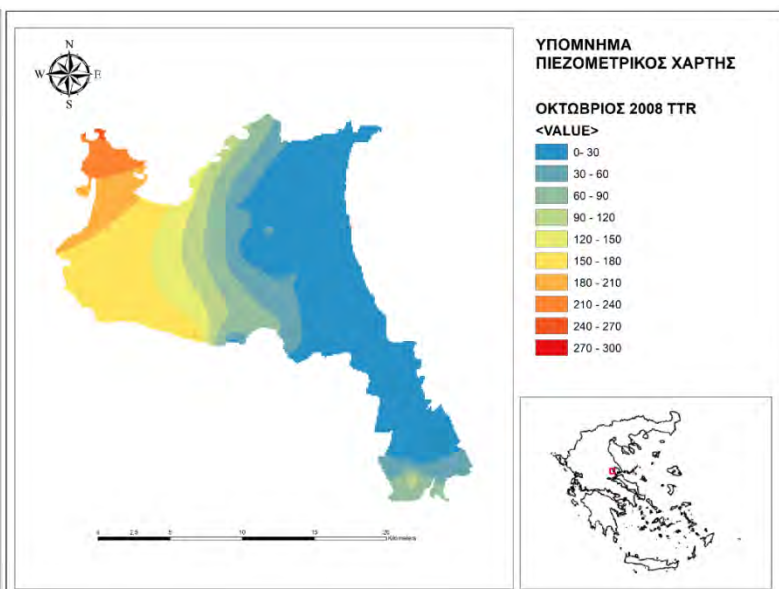


Εικόνα 150: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Simple Kriging

Διπλωματική Εργασία



Εικόνα 152: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Simple Kriging Trend Remove

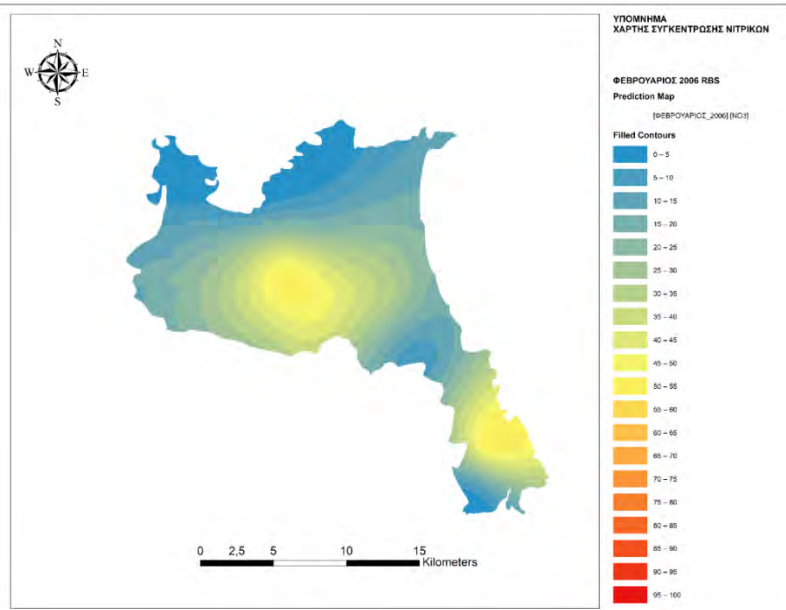


Εικόνα 151: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτώβριος 2008 Topo to Raster

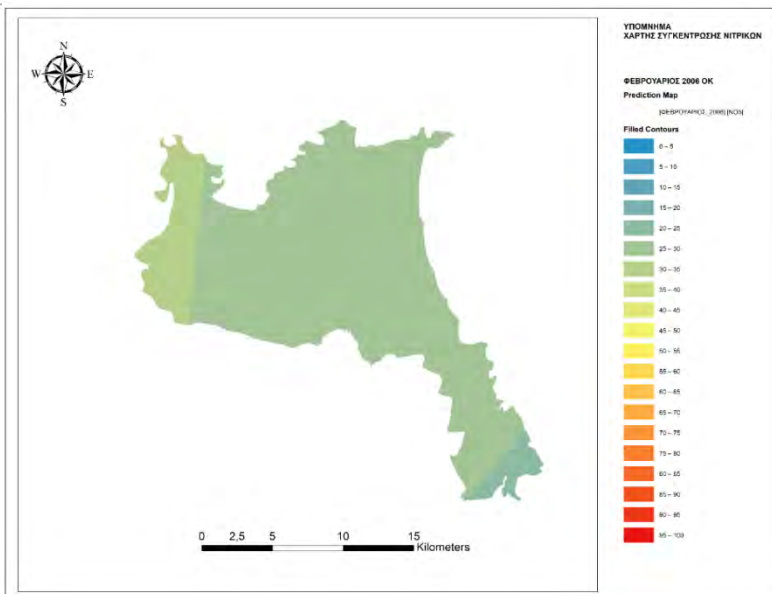
Πίνακας 24: Σφάλματα Οκτώβριος 2008

Οκτώβριος 2008	IDW	RBS	OK	SK	ΤΟΠΟ ΤΟ RASTER	SKTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-7,02		-0,05	-2,33	-7,07	2,16	-2,4
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	45,16		32,31	40,09	43,56	20,23	36,63
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ		-		25,18	28,3	14,59	23,5
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-		-0,03	-0,18		-0,07
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		-		1,34	1,23		1,43

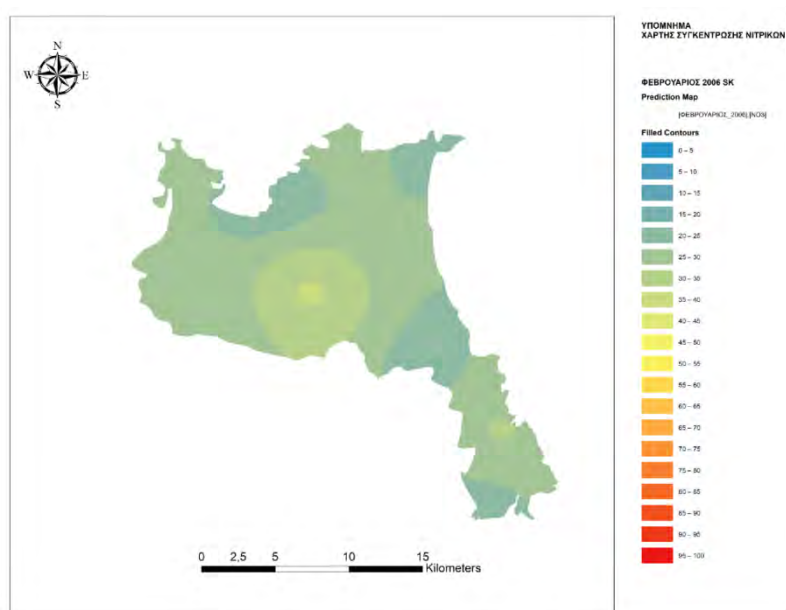
9.2 Χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών



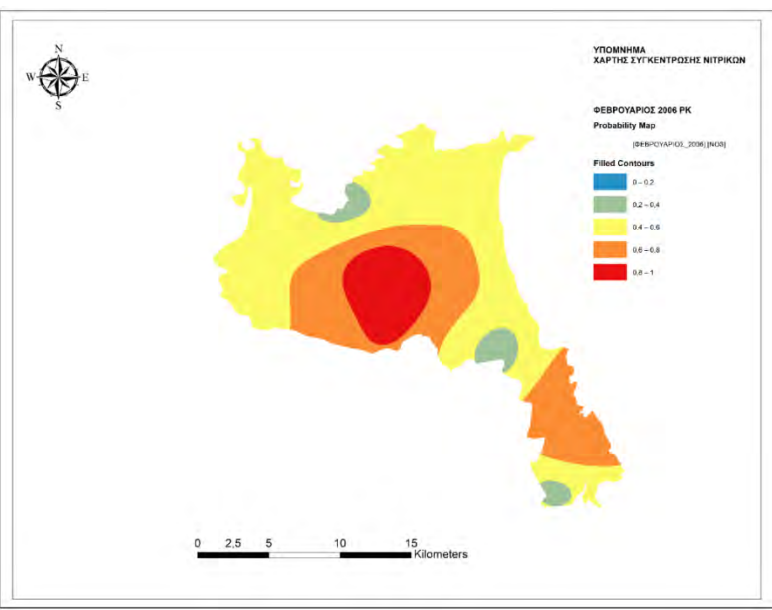
Εικόνα 155: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 RBS



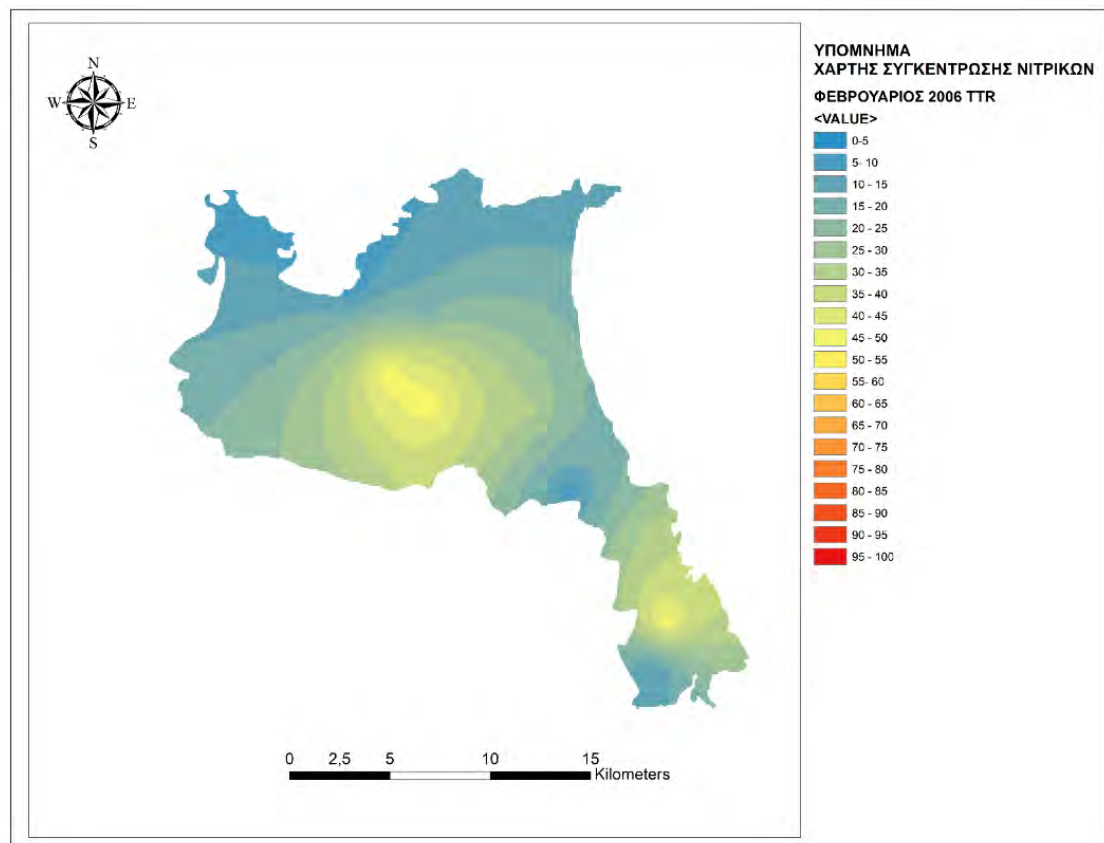
Εικόνα 156: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 154: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Simple Kriging



Εικόνα 153: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Probability Kriging

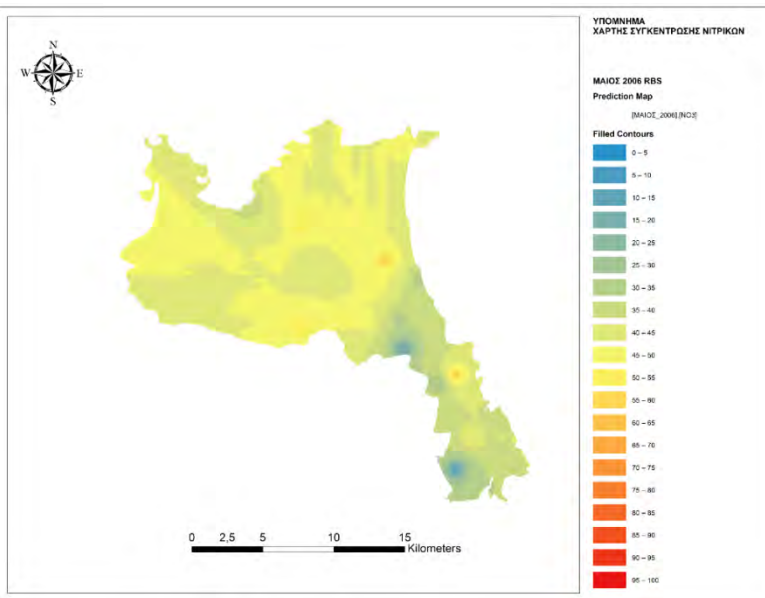


Εικόνα 157: Χάρτης Συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2006 Τοπο to raster

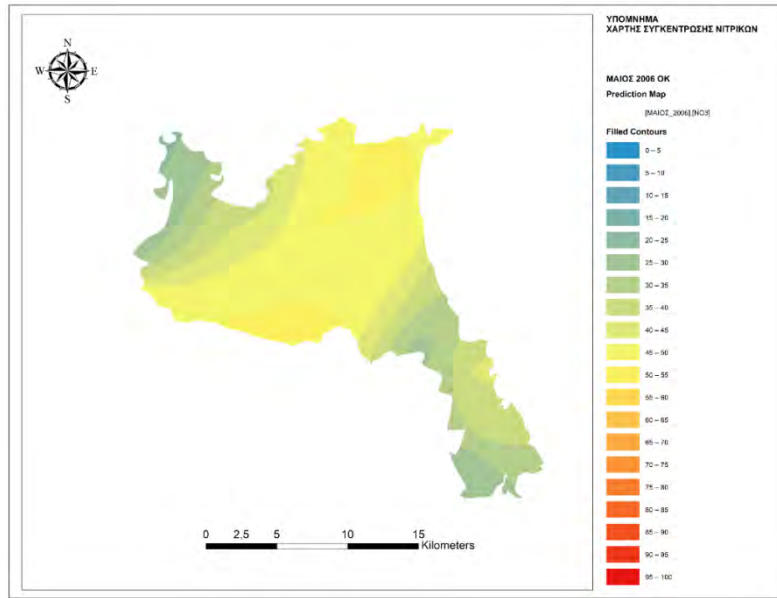
Φεβρουάριος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,57	0,51	0,88	0,02	2,51
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	12,43	16,28	14,86	0,49	35,61
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	16,45	15,85	-	0,82
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,02	0,05	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,98	0,93	-	-

Πίνακας 25: Σφάλματα Φεβρουάριος 2006

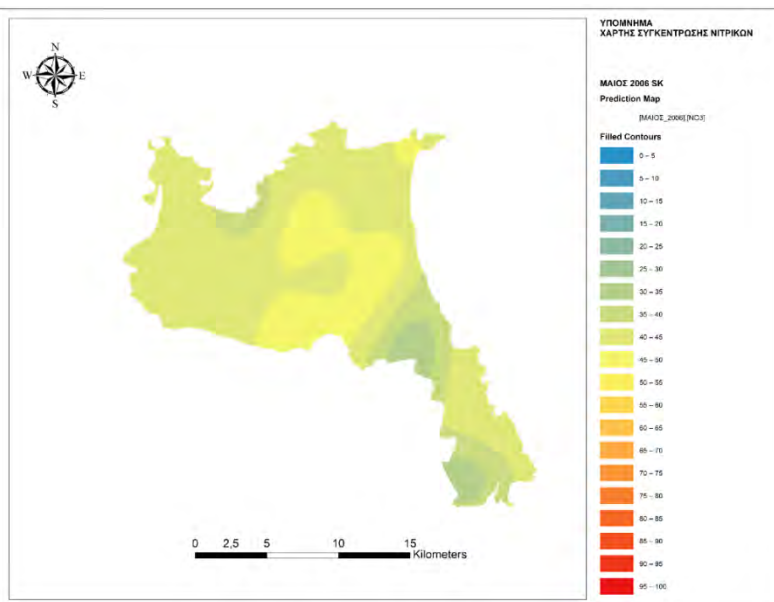
Διπλωματική Εργασία



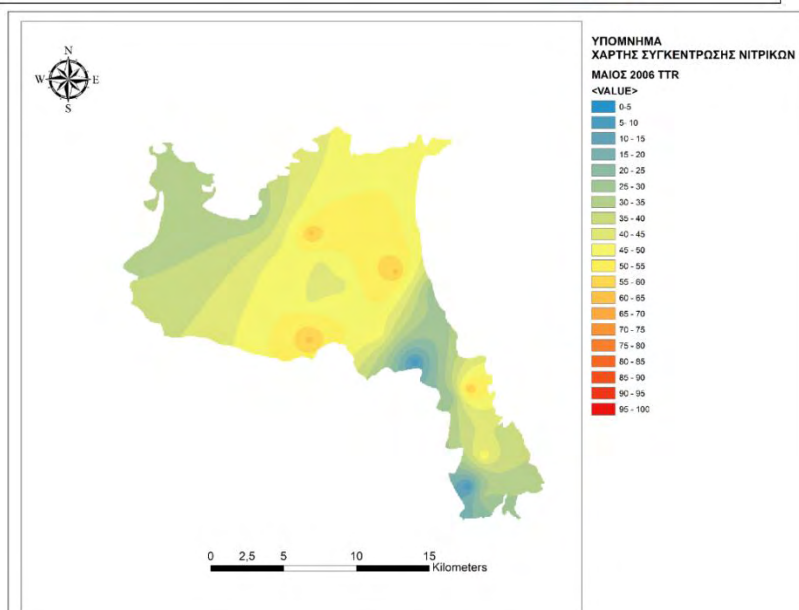
Εικόνα 158: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 RBS



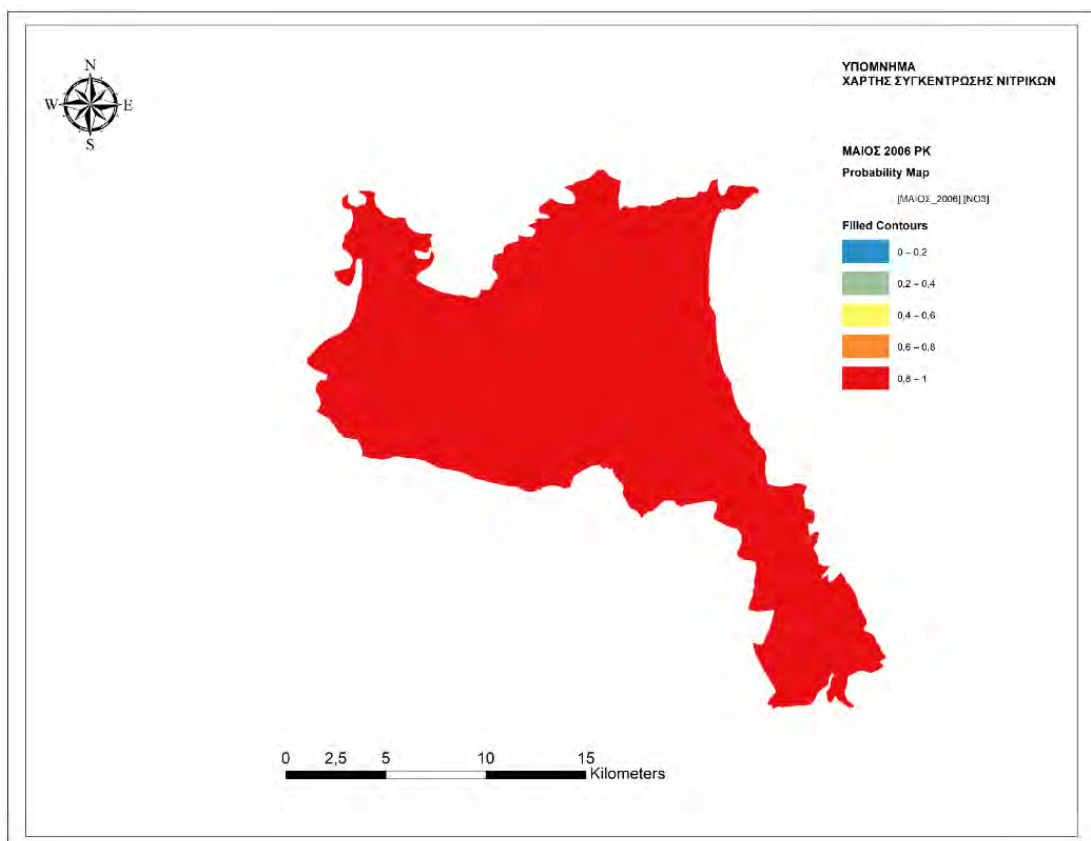
Εικόνα 159: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 160: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Simple Kriging



Εικόνα 161: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Topo to Raster

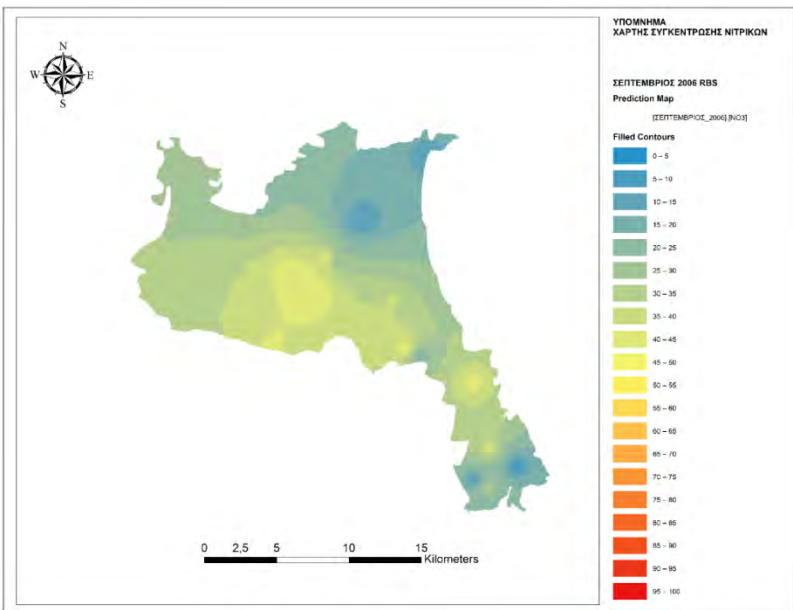


Εικόνα 162: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2006 Probability Kriging

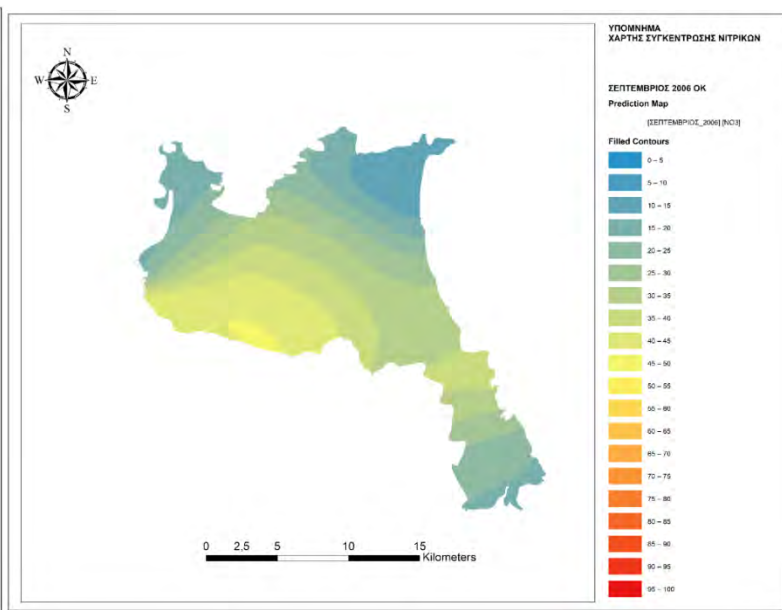
Μάιος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,08	0,97	0,31	0,06	4,15
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	15,97	16,66	15,62	0,41	41,2
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	16,04	15,11	-	3,05
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,05	0,01	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,0045	1,03	-	-

Πίνακας 26: Σφάλματα Μάιος 2006

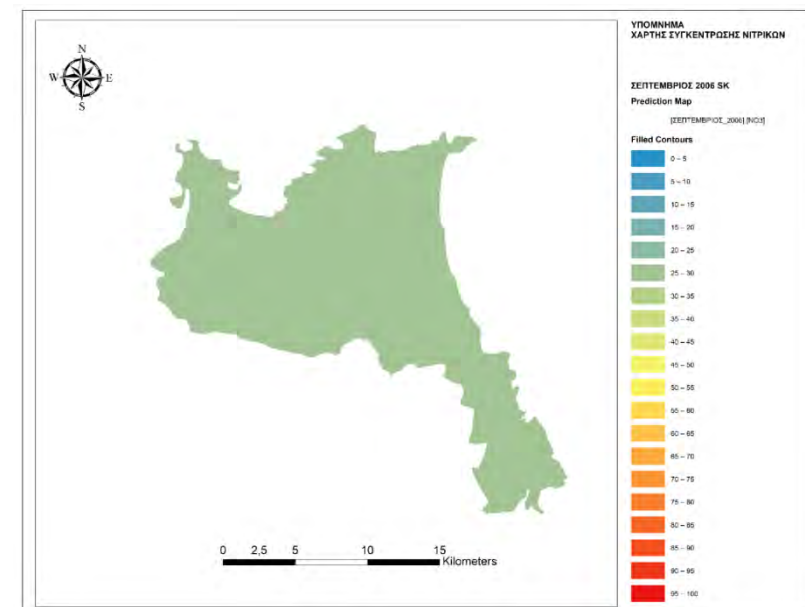
Διπλωματική Εργασία



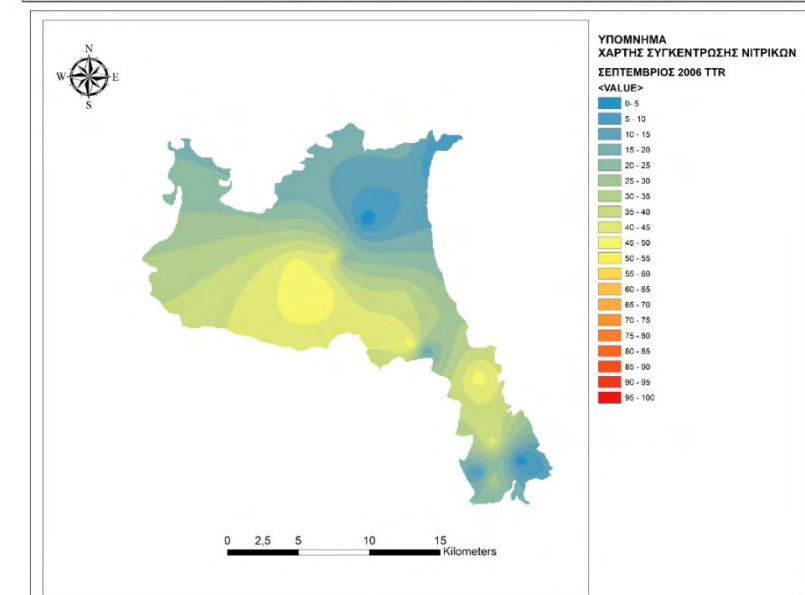
Εικόνα 164: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 RBS



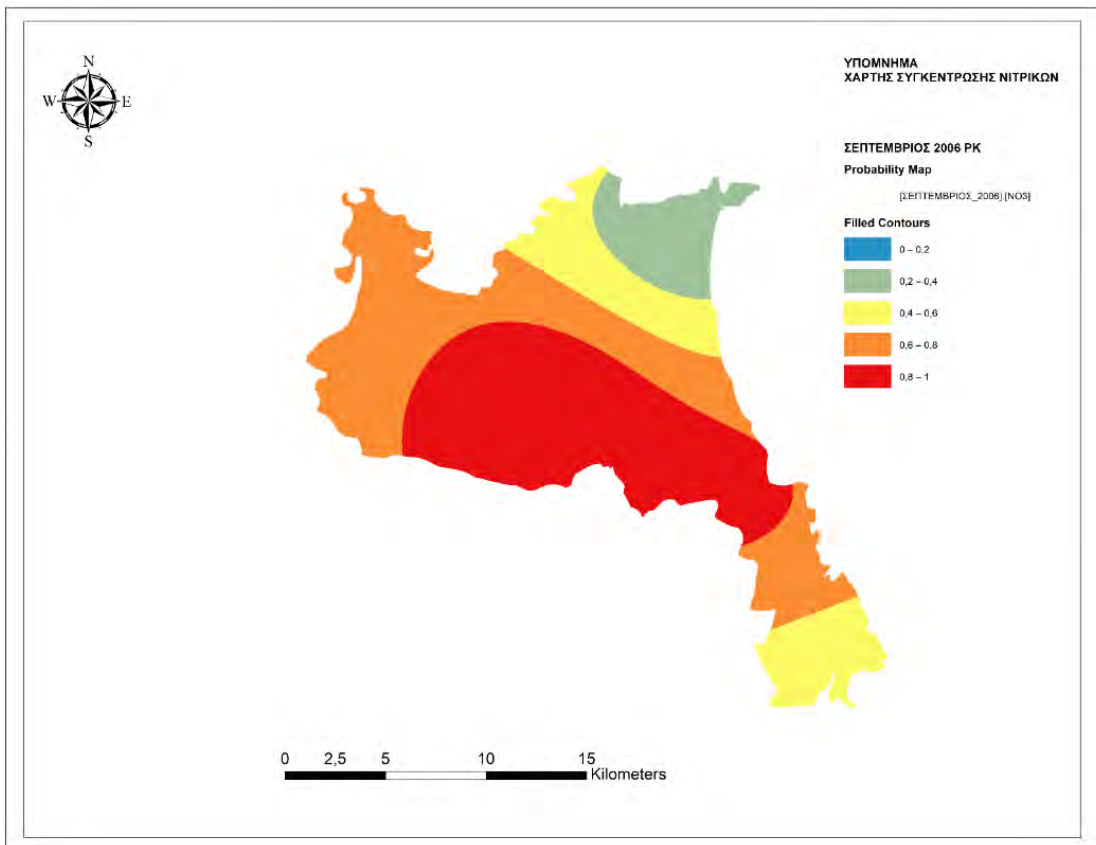
Εικόνα 163: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Ordinary Kriging



Εικόνα 165: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Simple Kriging



Εικόνα 166: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Topo to Raster

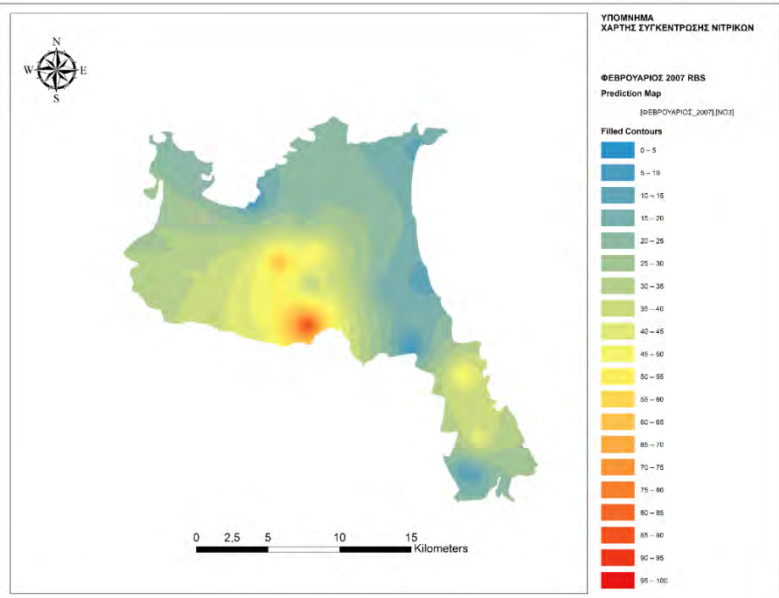


Εικόνα 167: Χάρτης Συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2006 Probability Kriging

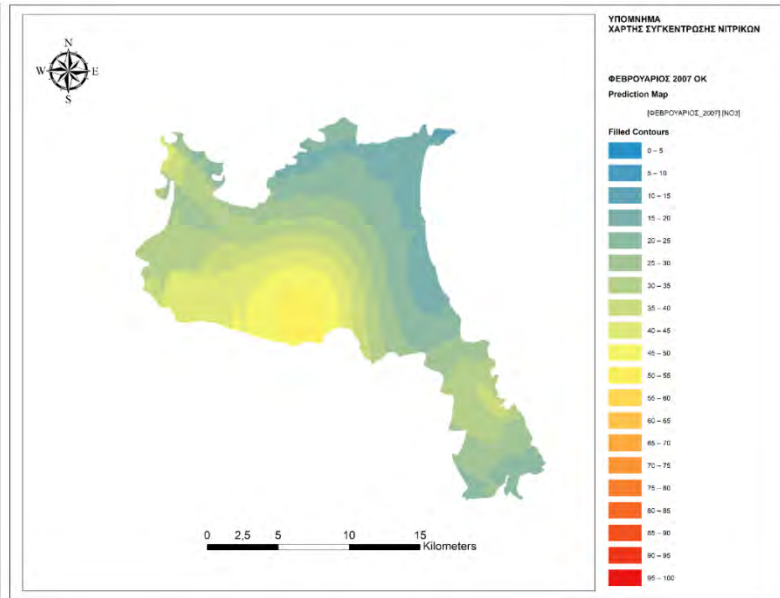
Σεπτέμβριος 2006	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,23	0,93	-0,002	0,1	1,79
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	19,01	18,85	17,25	0,51	30,24
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	19,73	17,4	-	0,34
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,045	-	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,97	0,99	-	-

Πίνακας 27: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2006

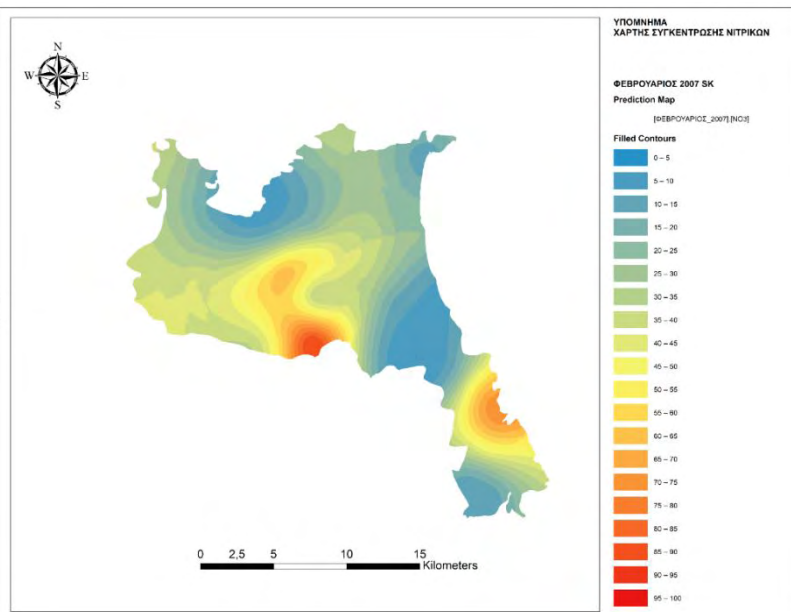
Διπλωματική Εργασία



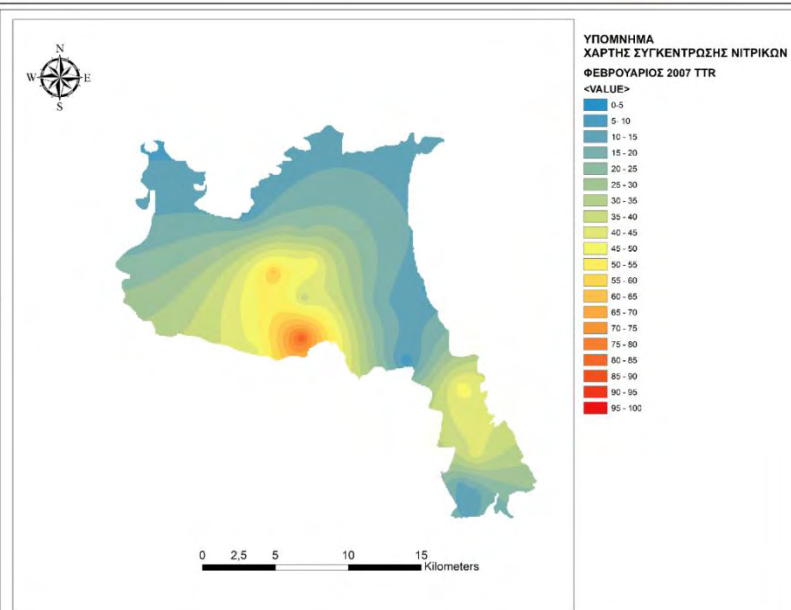
Εικόνα 169: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 RBS



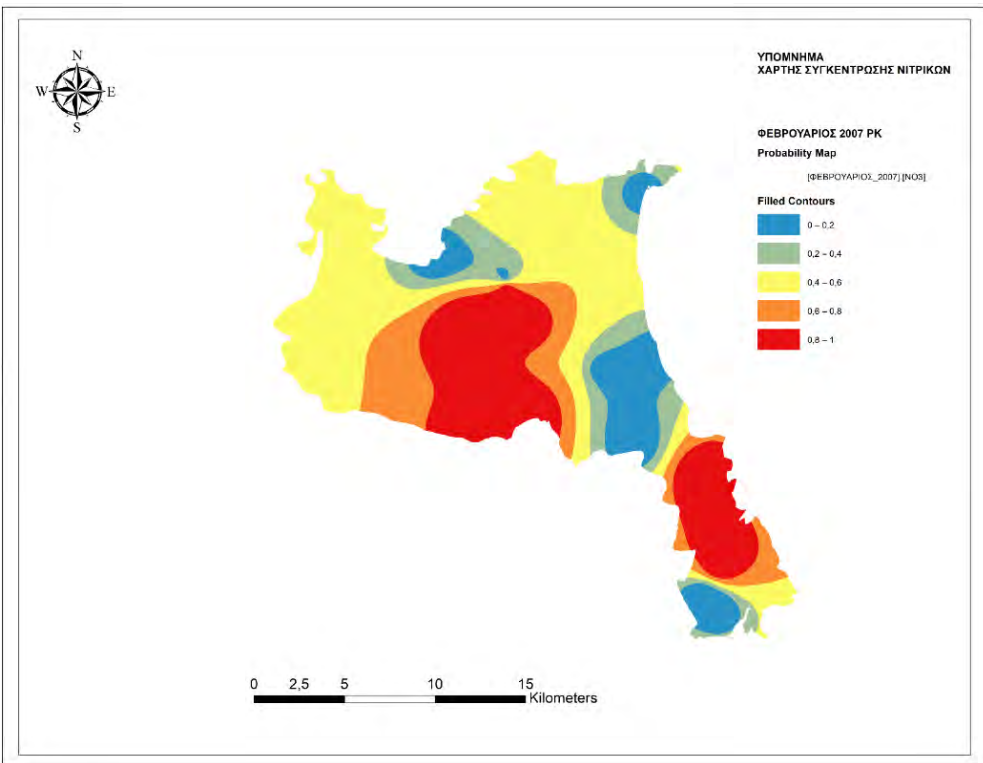
Εικόνα 168: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 170: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging



Εικόνα 171: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster

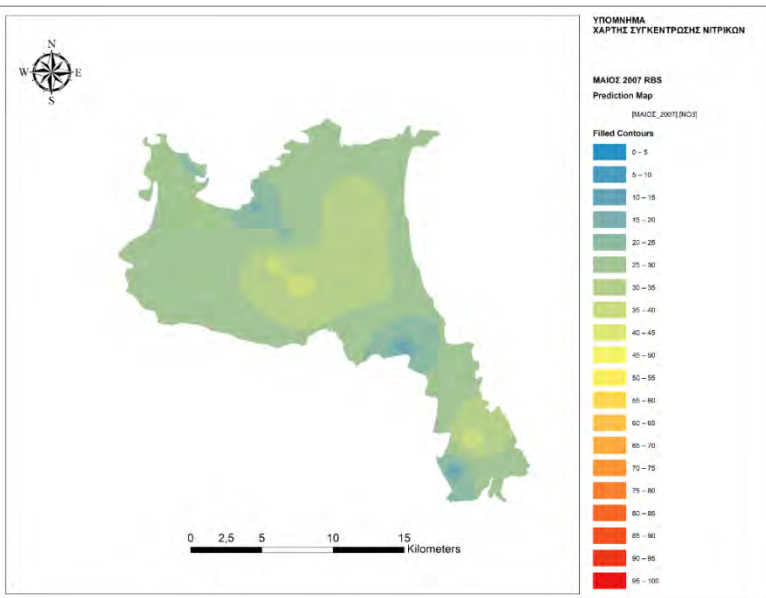


Εικόνα 172: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών
Φεβρουάριος 2007 Probability Kriging

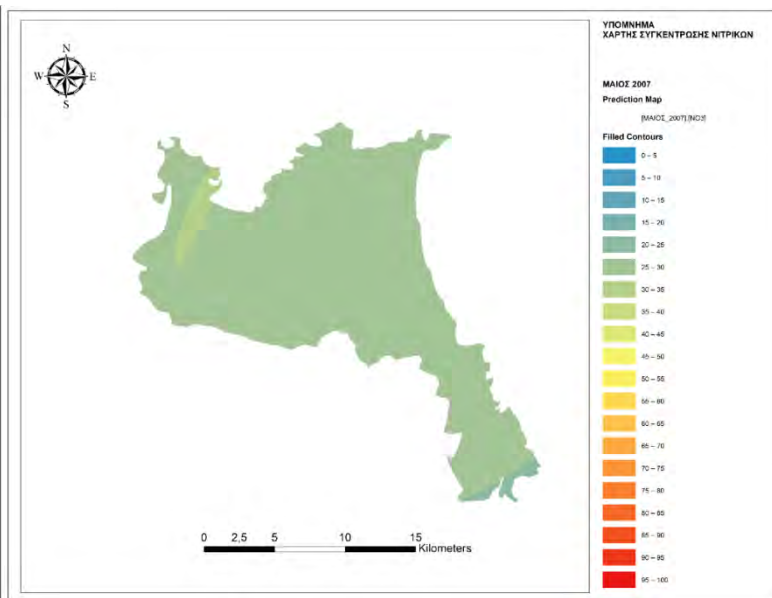
Φεβρουάριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,58	2,16	4,28	0,11	5,15
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	23,12	23,39	29,06	0,46	40,32
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	24,59	28,1	-	3,09
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,07	-0,03	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,96	1,13	-	-

Πίνακας 28: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007

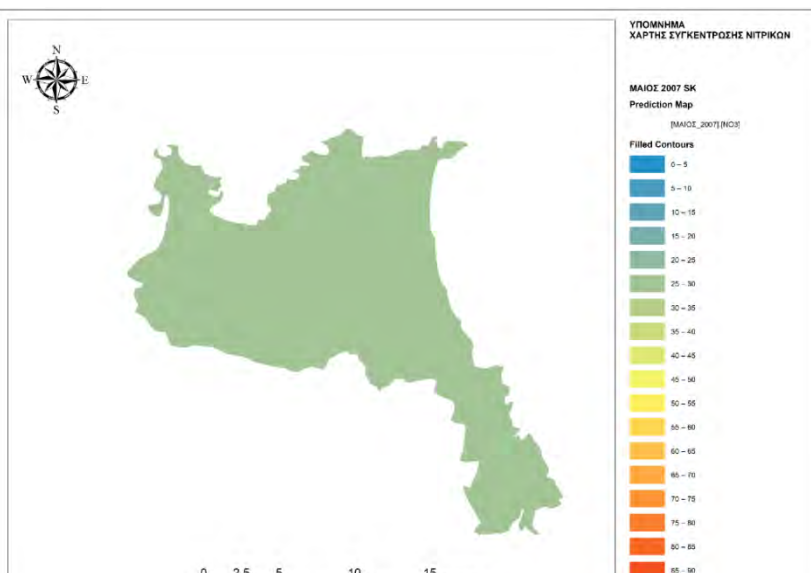
Διπλωματική Εργασία



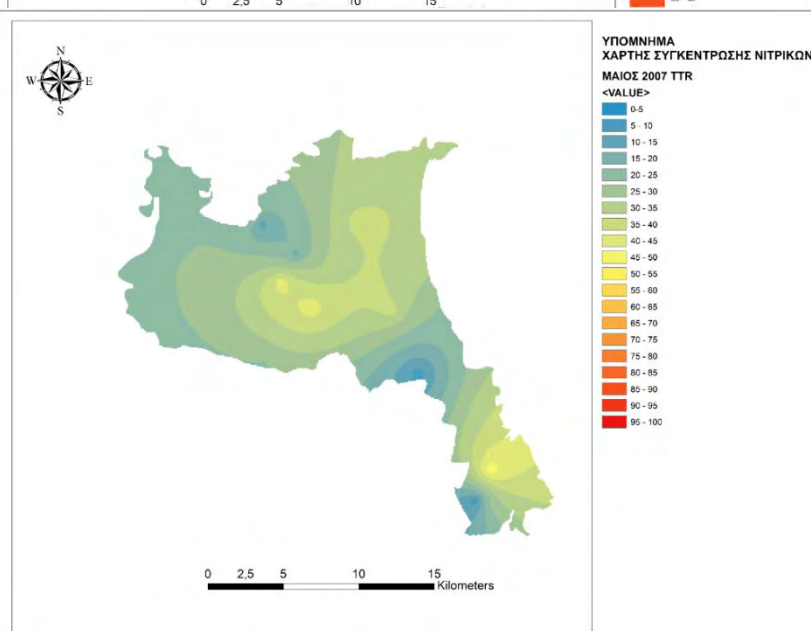
Εικόνα 173: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 RBS



Εικόνα 174: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 175: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Simple Kriging



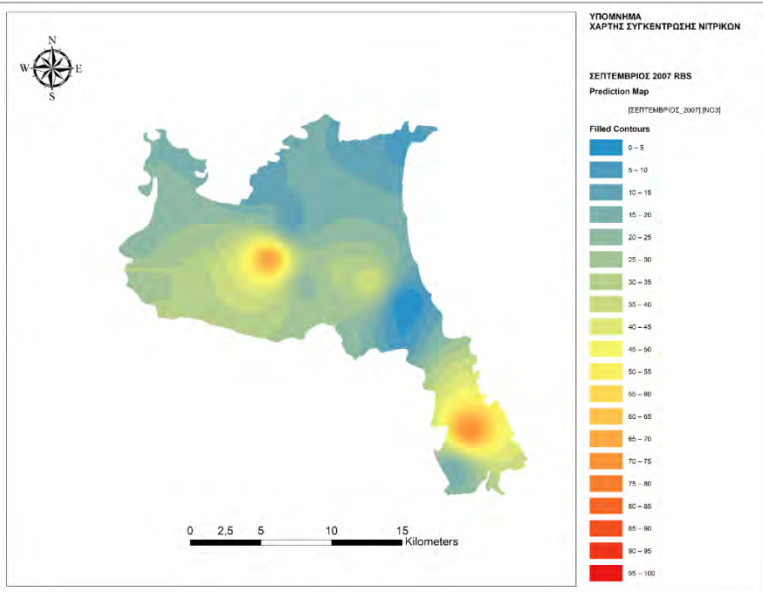
Εικόνα 176: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Μάιος 2007 Topo to Raster

Διπλωματική Εργασία

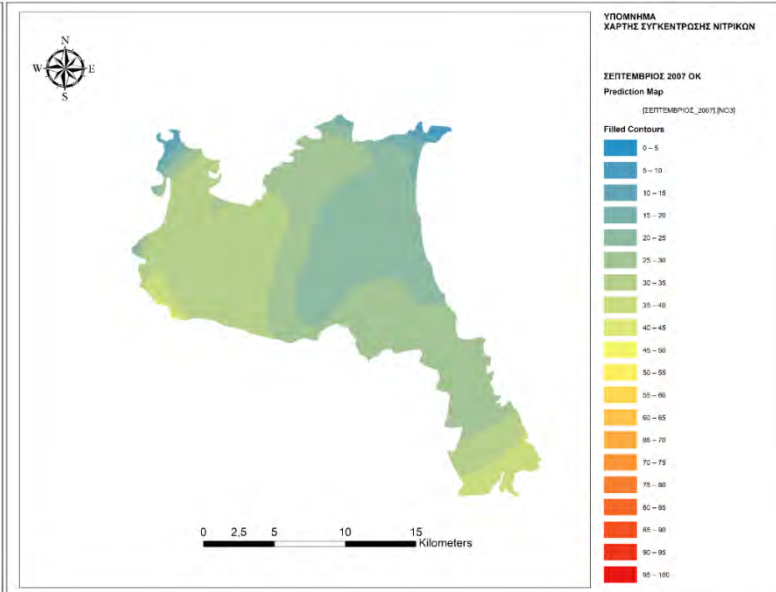
Μάιος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		-0,27	-0,06	0,0005	-	3,49
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		14,76	14,04	12,77	-	37,49
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		13,92	13,31	-	1,19
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		-0,004	0,0003	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-		1,0045	0,95	-	-

Πίνακας 29: Σφάλματα Μάιος 2007

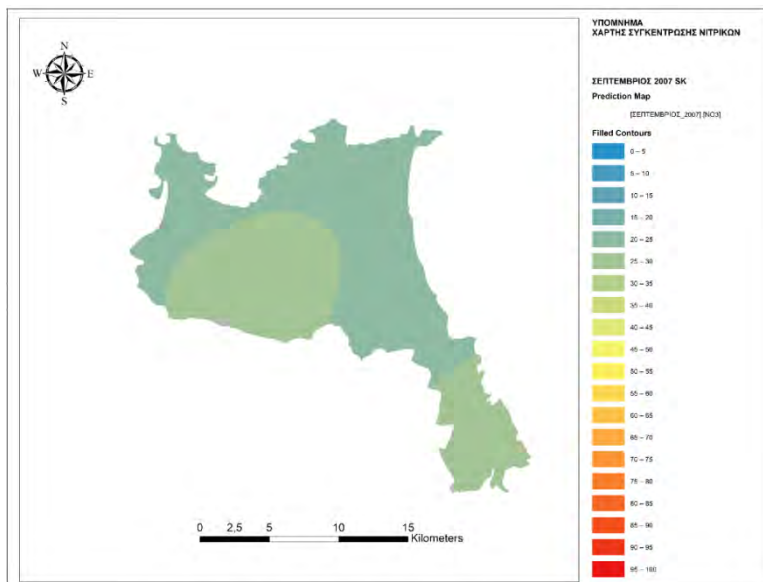
Διπλωματική Εργασία



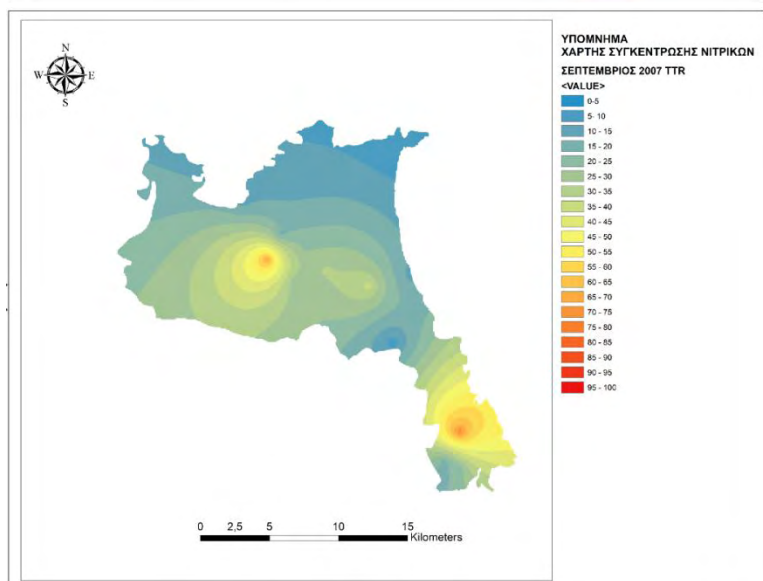
Εικόνα 177: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 RBS



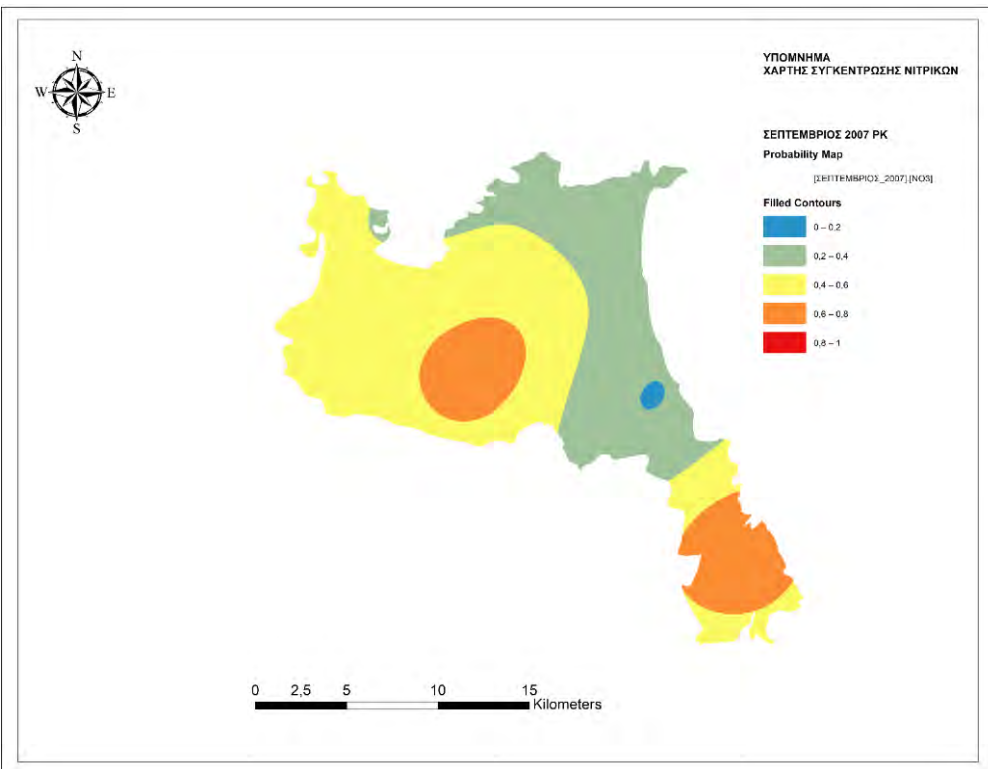
Εικόνα 178: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 179: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging



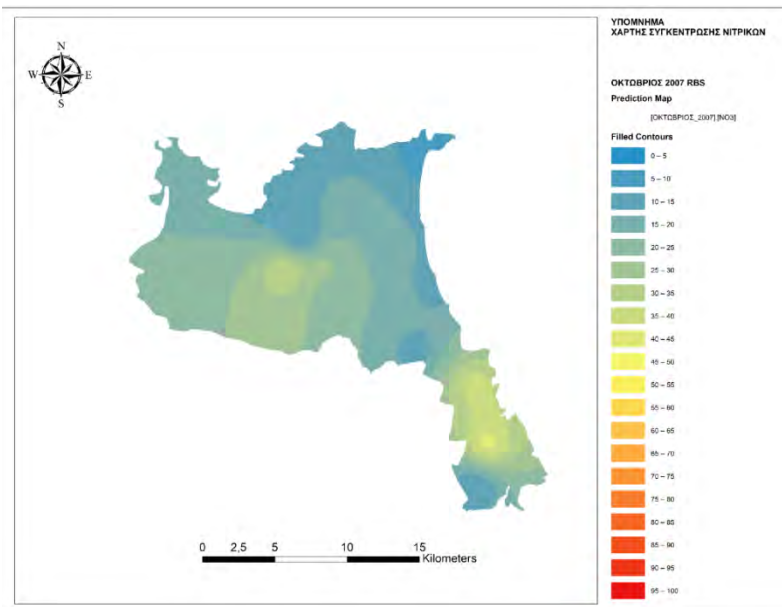
Εικόνα 180: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Topo to Raster



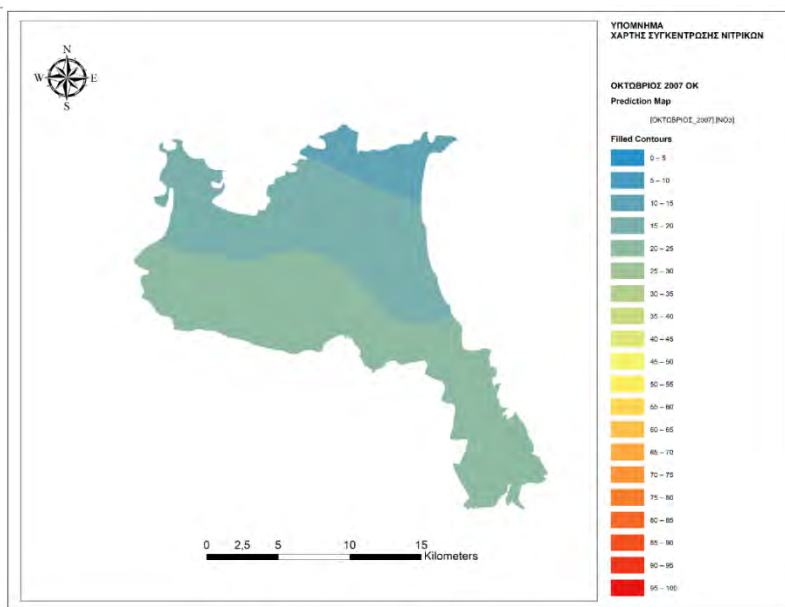
Εικόνα 181: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Probability Kriging

Σεπτέμβριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-0,33	0,52	0,39	0,11	3,67
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	21,66	22,62	20,43	0,51	37,81
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	21,51	19,73	-	1,36
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,02	0,012	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,04	1,04	-	-

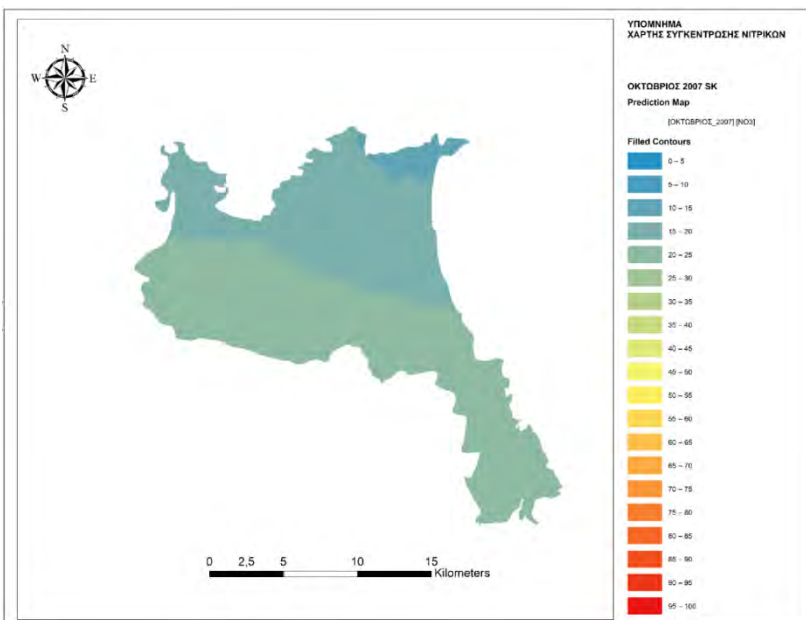
Πίνακας 30: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2007



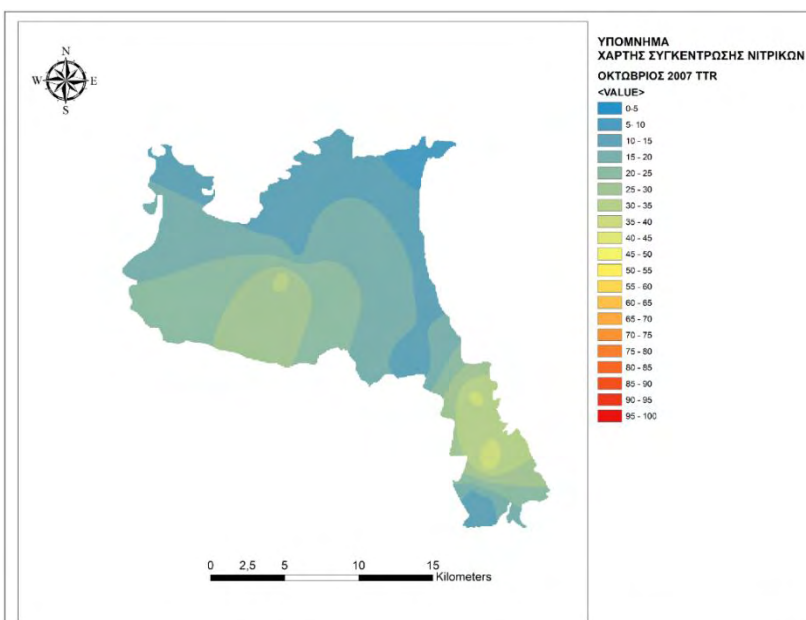
Εικόνα 182: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 RBS



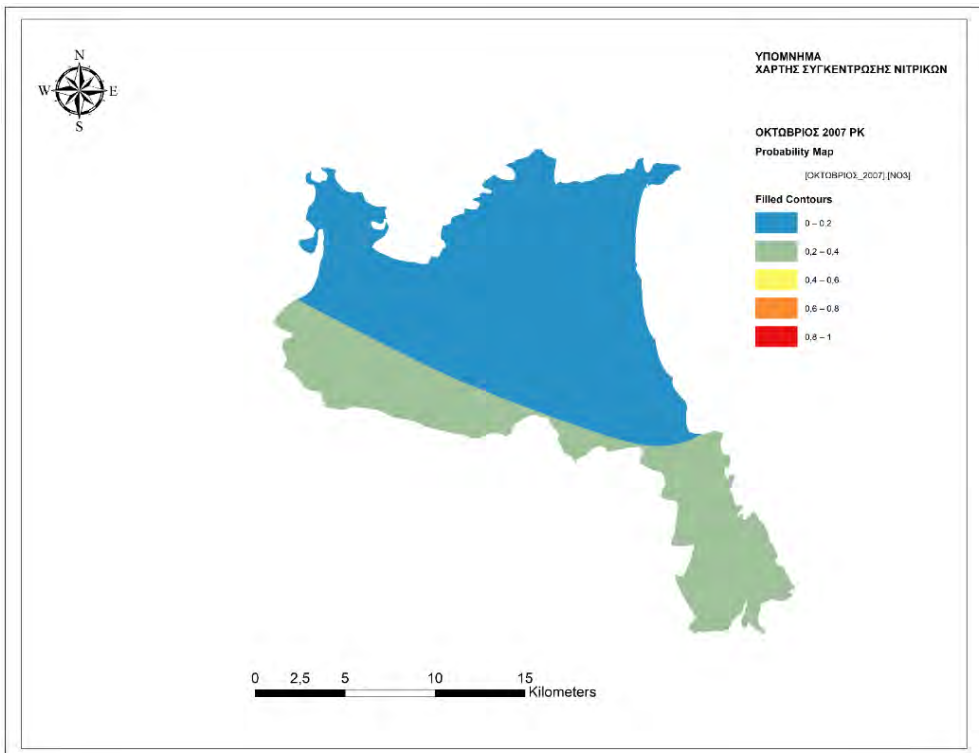
Εικόνα 183: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 184: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Simple Kriging



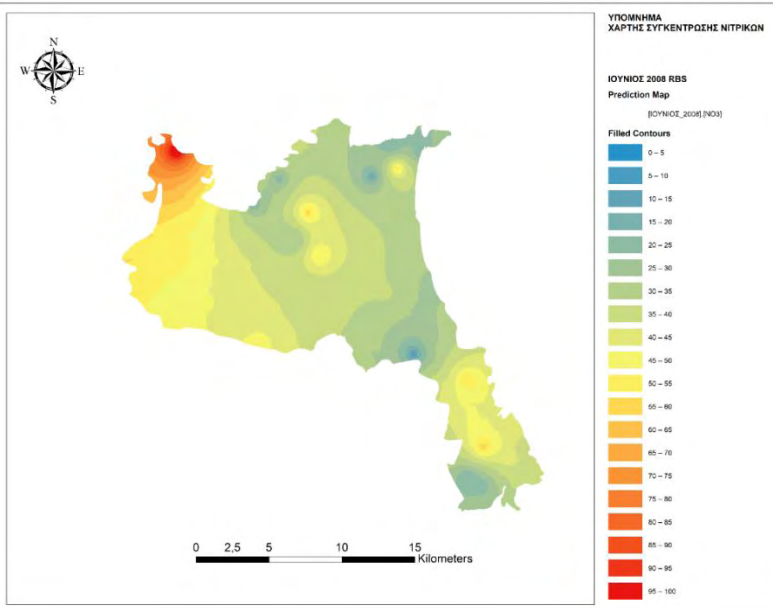
Εικόνα 185: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Topo to Raster



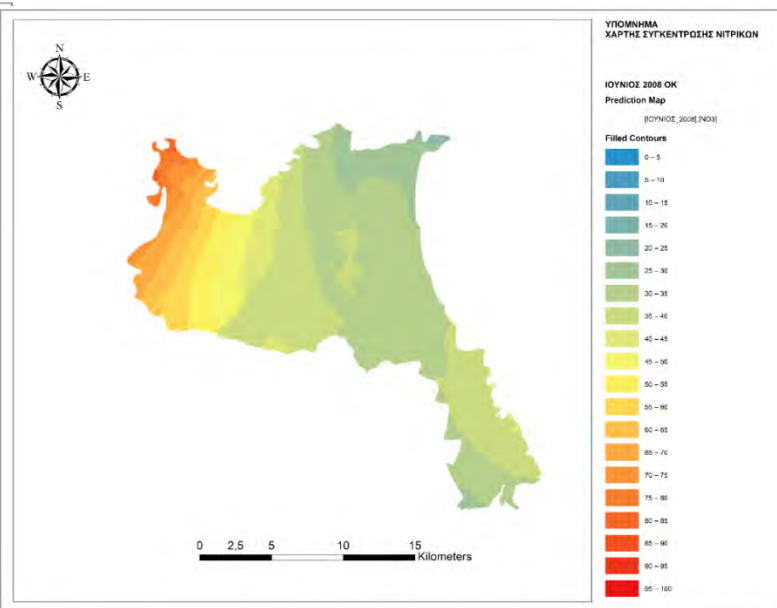
Εικόνα 186: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2007 Probability Kriging

Οκτώβριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		-0,7	0,17	0,22	0,07	2,78
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		10,06	10,79	10,95	0,46	36,54
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		10,36	10,06	-	0,81
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		0,006	0,015	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-		1,03	1,08	-	-

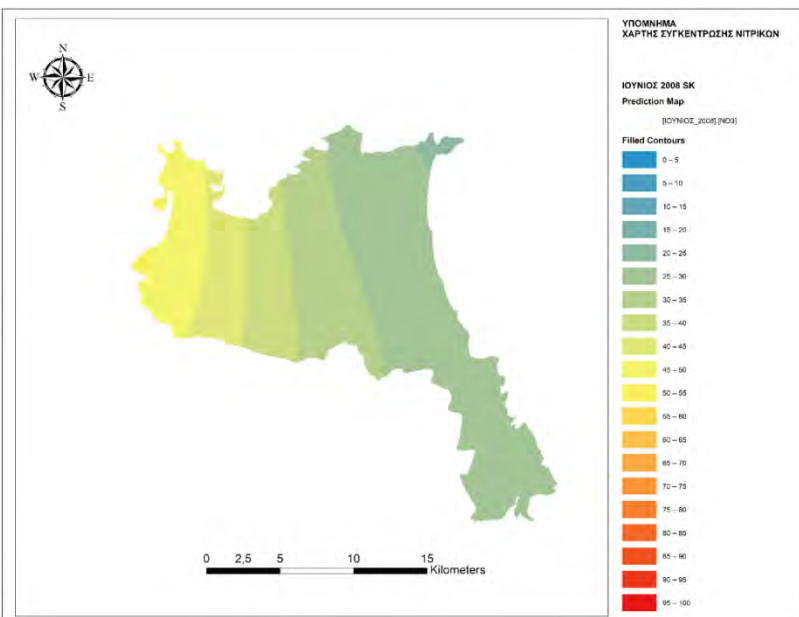
Πίνακας 31: Σφάλματα Οκτώβριος 2007



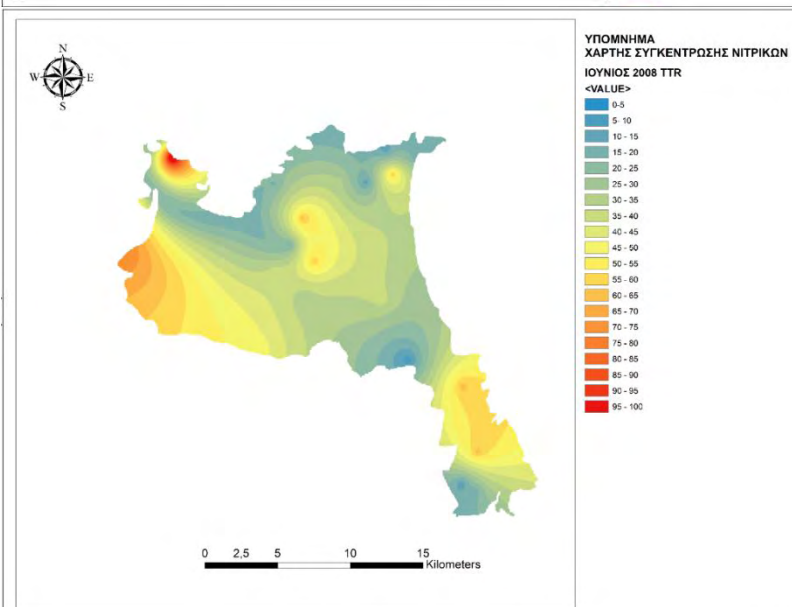
Εικόνα 187: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιουνίου 2008 RBS



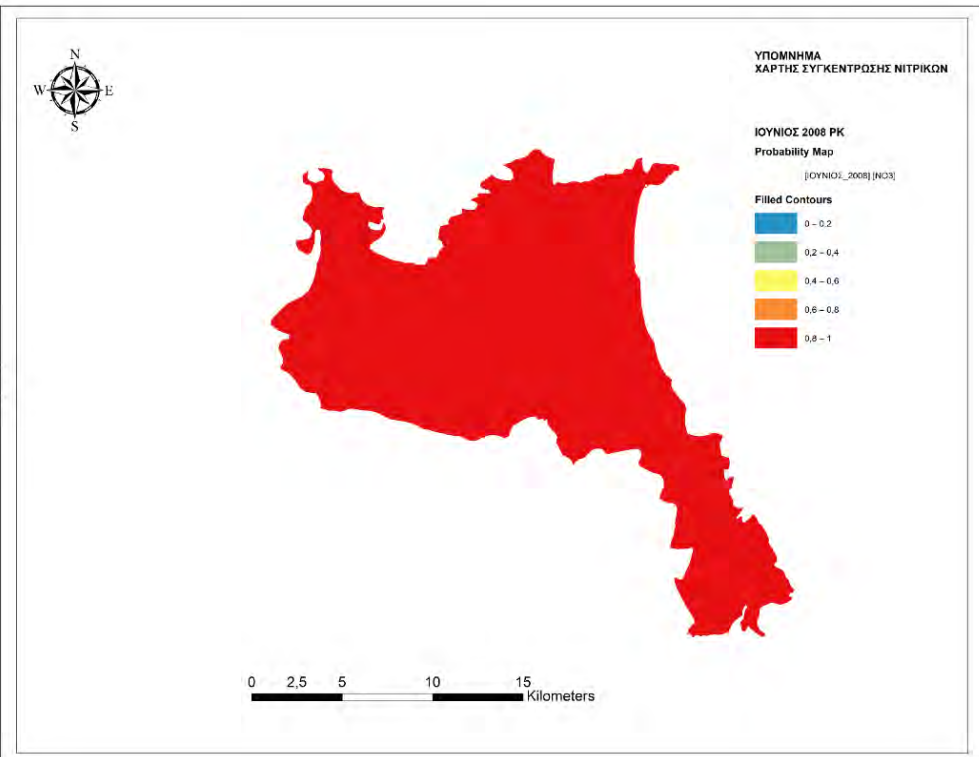
Εικόνα 188: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιουνίου 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 189: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιουνίου 2008 Simple Kriging



Εικόνα 190: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Ιουνίου 2008 Topo to Raster

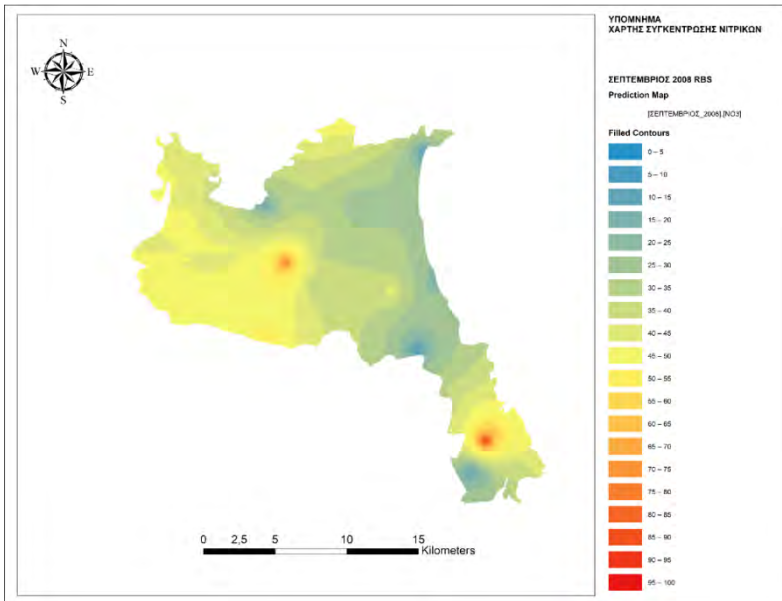


Εικόνα 191: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Ιούνιος 2008 Probability Kriging

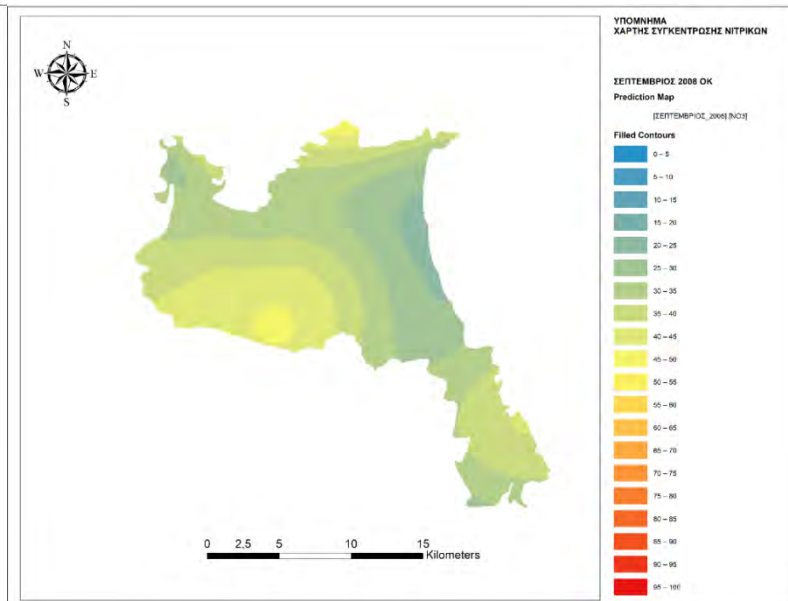
Ιούνιος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-1,19	-1,75	-1,67	0,11	3,84
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	29,34	30,31	27,83	0,51	38,54
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	21,76	22,61	-	1,86
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,04	-0,1	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,29	1,21	-	-

Πίνακας 32: Σφάλματα Ιούνιος 2008

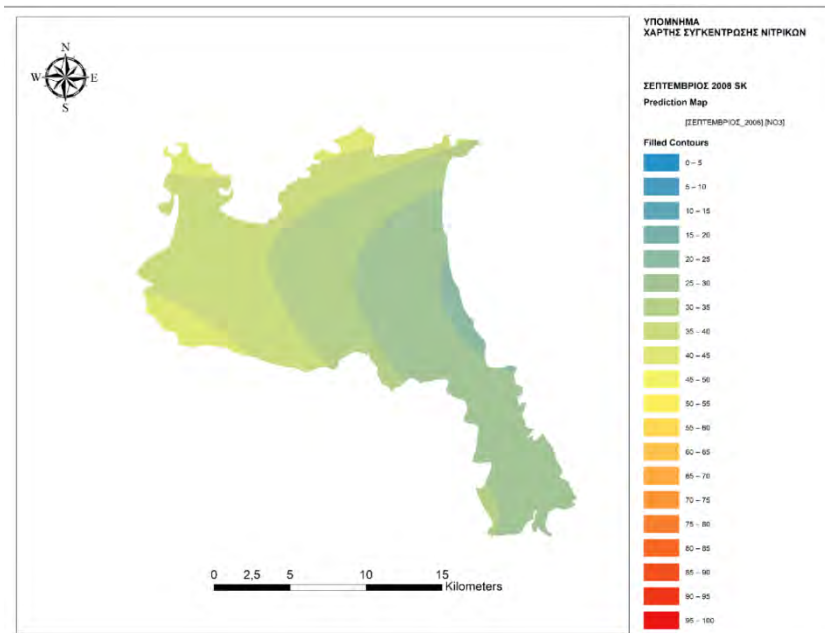
Διπλωματική Εργασία



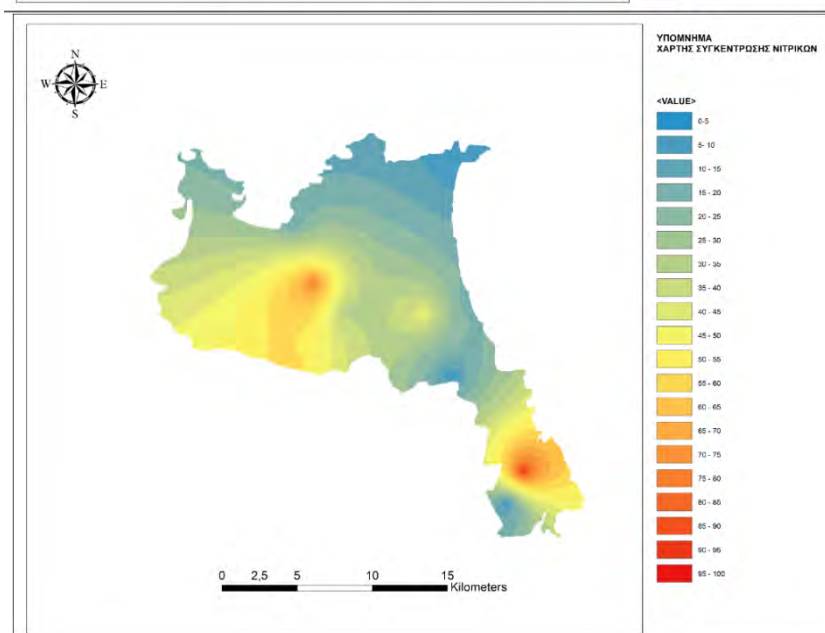
Εικόνα 193: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 RBS



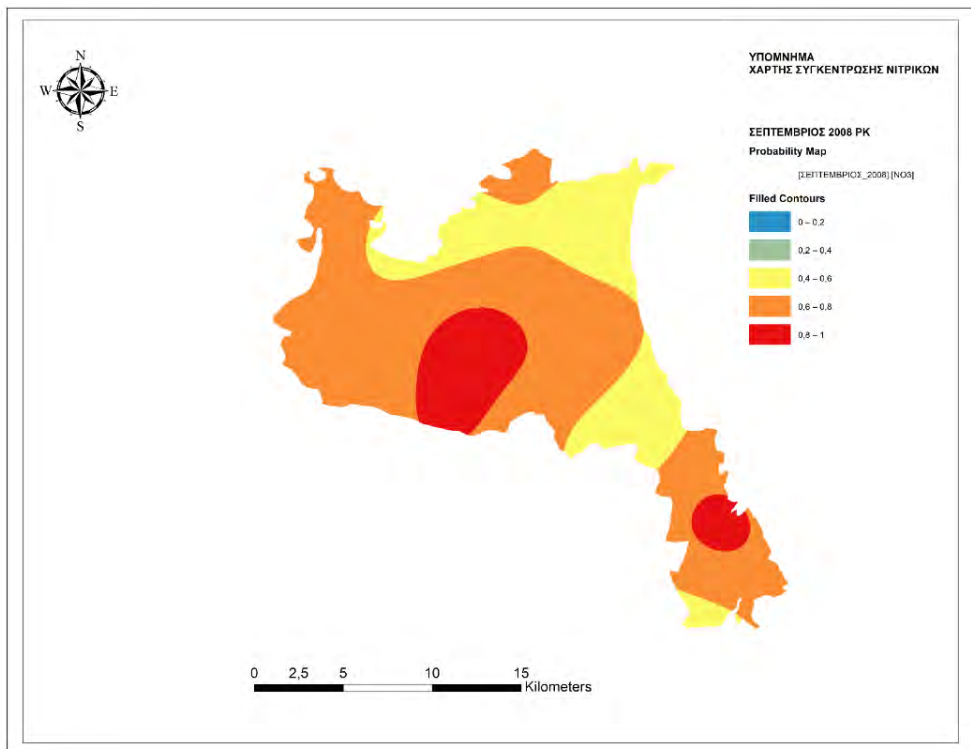
Εικόνα 192: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 194: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging



Εικόνα 195: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster

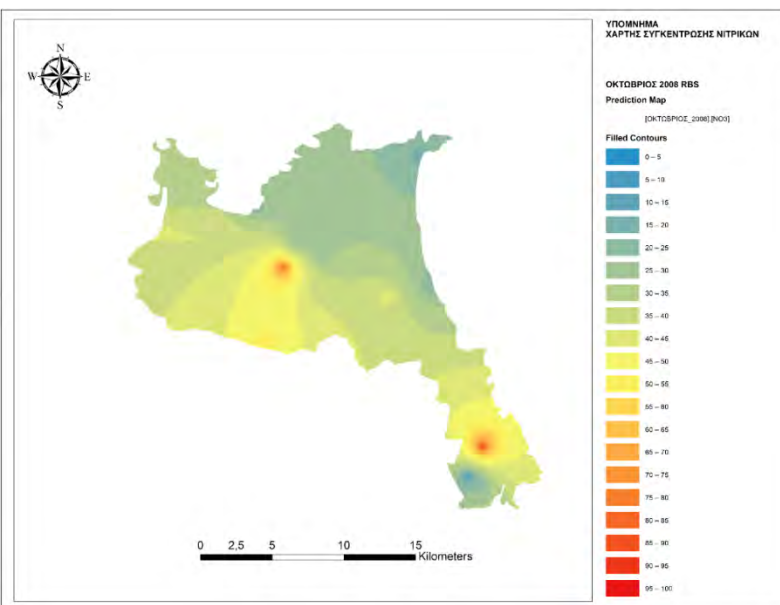


Εικόνα 196: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Σεπτέμβριος 2008 Probability Kriging

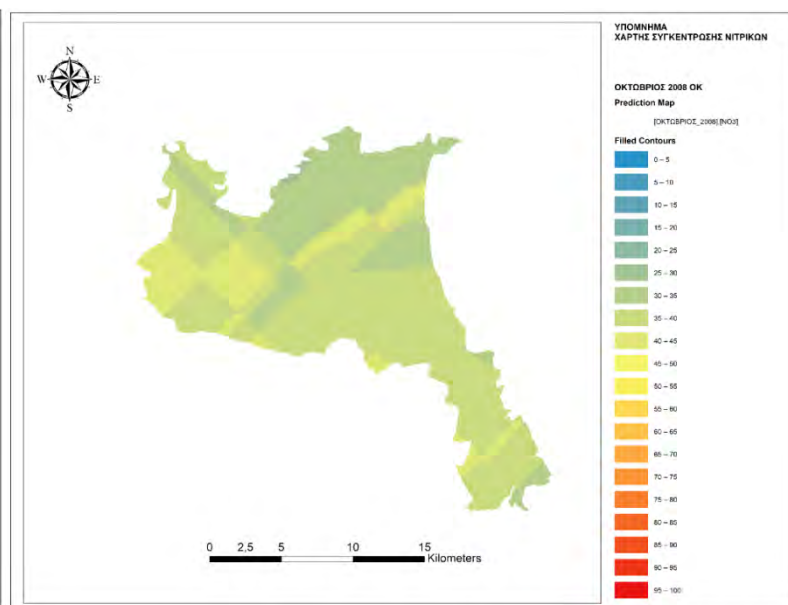
Σεπτέμβριος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-2,7	-3,81	-2,92	0,07	3,67
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	39,53	42,36	42,38	0,5	39,57
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	32,62	28,22	-	1,68
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,08	-0,17	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,21	1,52	-	-

Πίνακας 33: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008

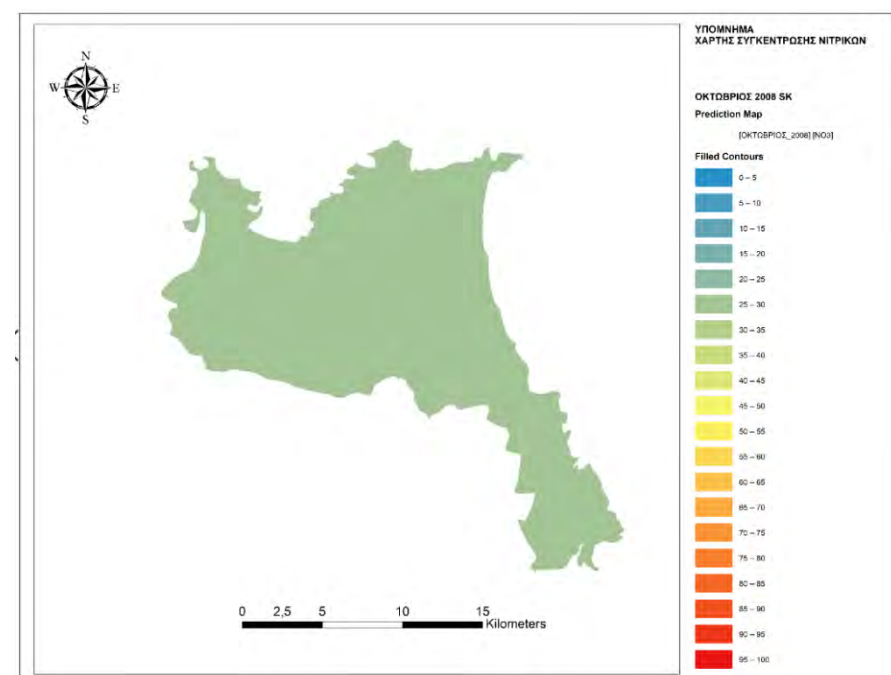
Διπλωματική Εργασία



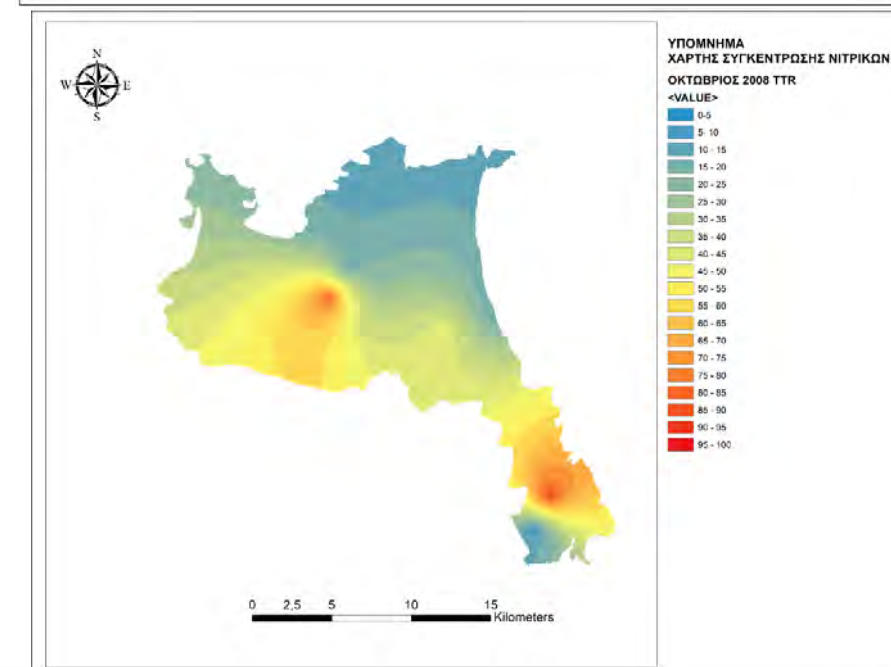
Εικόνα 198: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 RBS



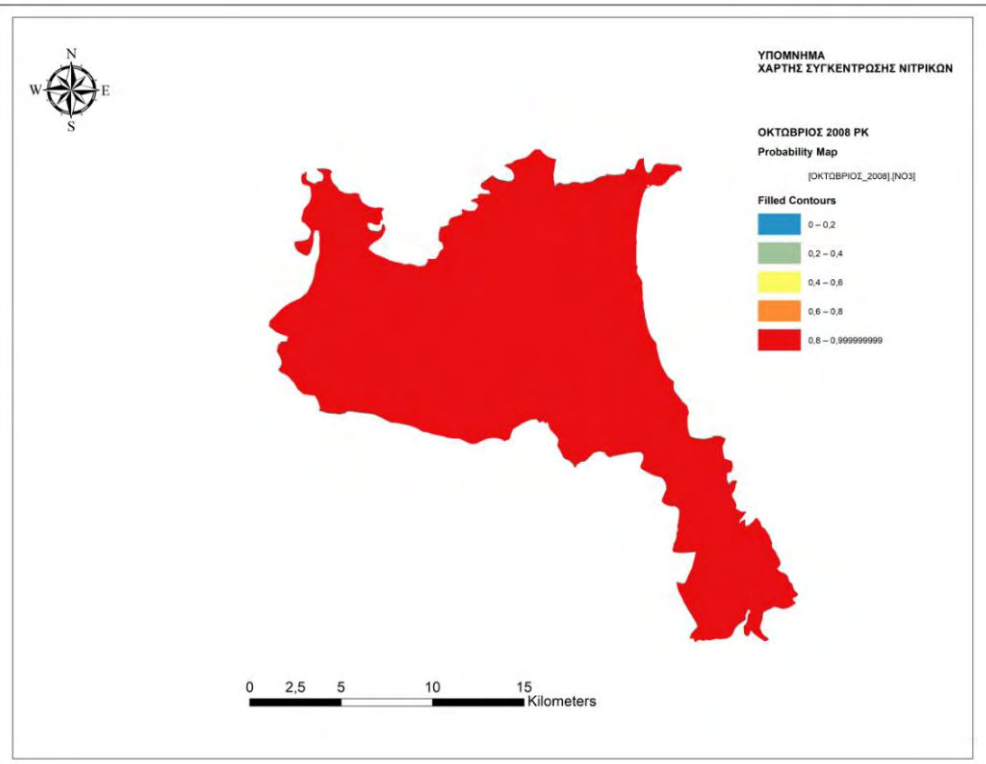
Εικόνα 197: Χάρτης συγκέντρωση νιτρικών Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 199: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 Simple Kriging



Εικόνα 200: Χάρτης συγκέντρωσης Νιτρικών Οκτώβριος 2008 Topo to Raster

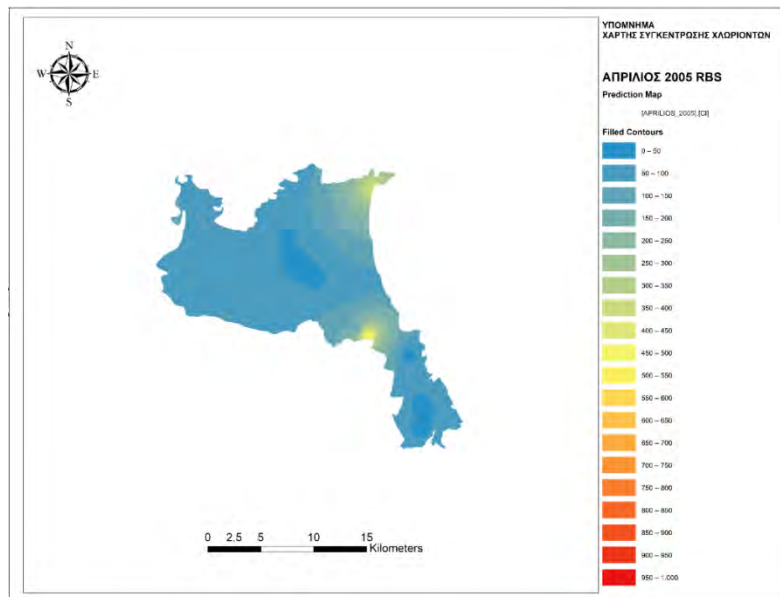


Εικόνα 201: Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών Οκτώβριος 2008 Probability Kriging

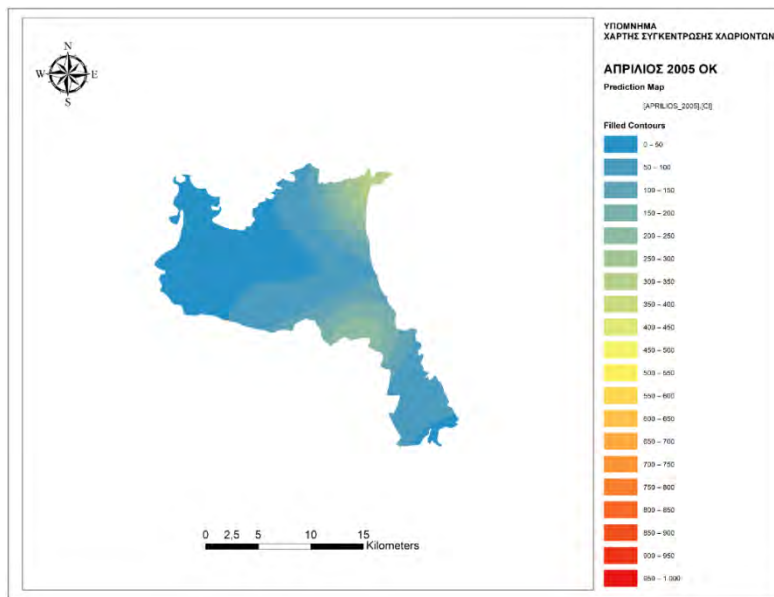
Οκτώβριος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,2	-0,87	3,98	0,16	1,57
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	32,66	27,53	33,84	0,52	32,16
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	26,15	49,2982	-	0,38
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,03	0,0808	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,05	0,6886	-	-

Πίνακας 34: Σφάλματα Οκτώβριος 2008

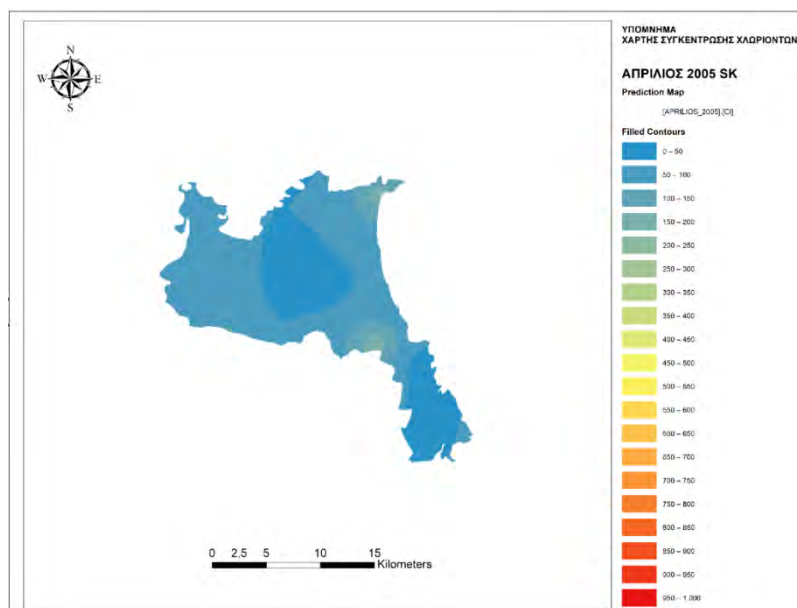
9.3 Χάρτες συγκέντρωσης χλωριόντων



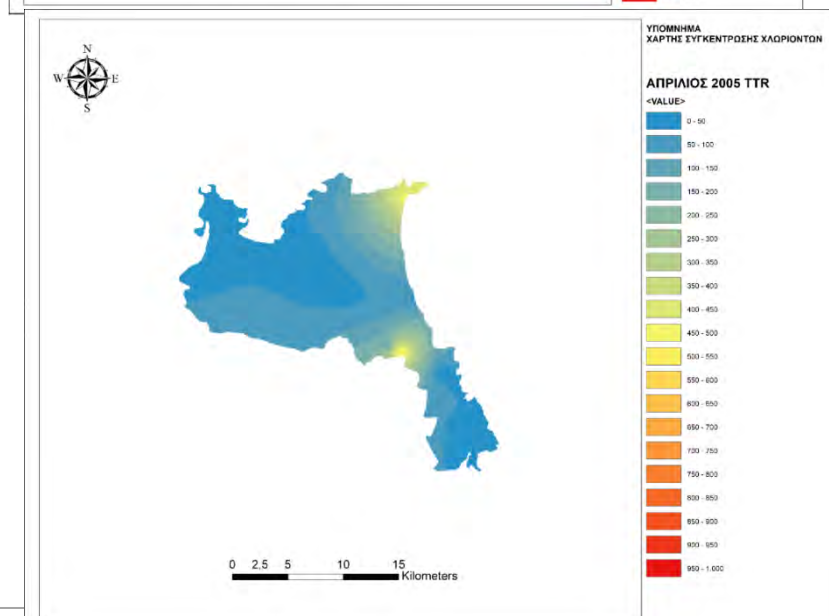
Εικόνα 202: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 RBS



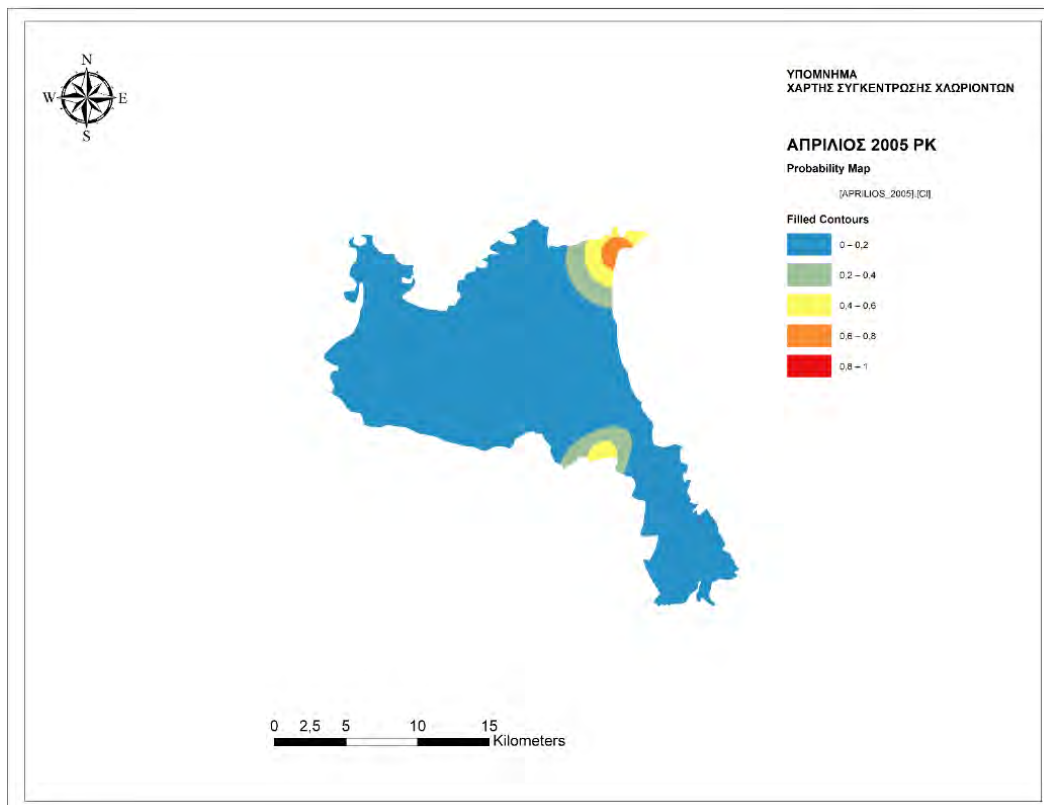
Εικόνα 203: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Απρίλιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 204: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 Simple Kriging



Εικόνα 205: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Απρίλιος 2005 Topo to Raster

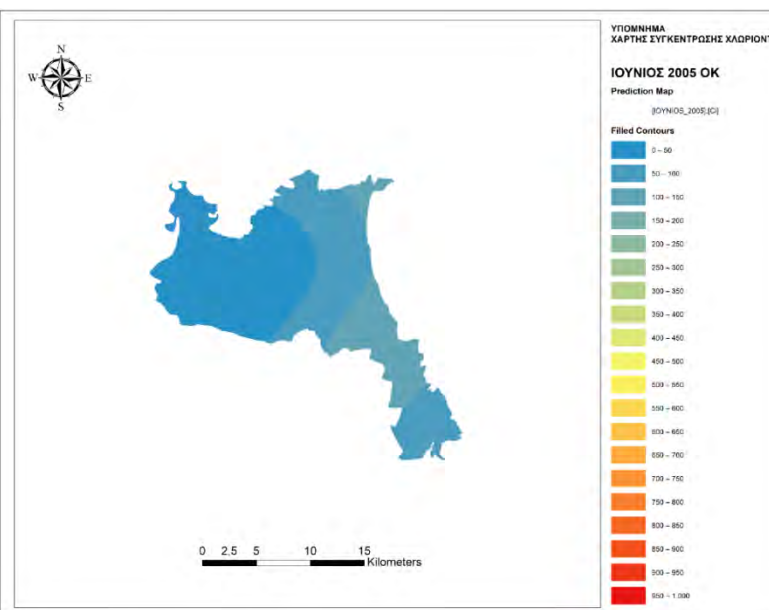


Εικόνα 206: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Απρίλιος 2005 Probability Kriging

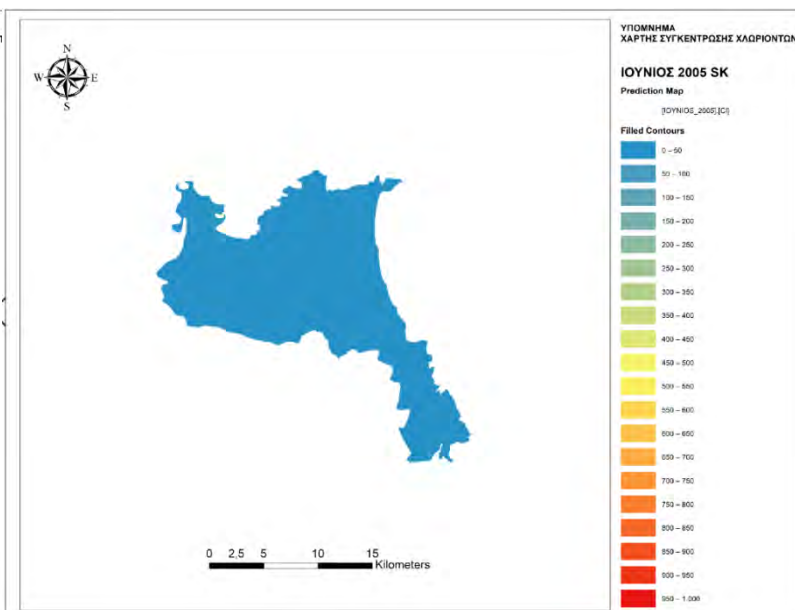
Απρίλιος 2005	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	0,5	-11,8481	-32,99	-0,02	2,12
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	186,76	210,38	169,37	0,36	29,29
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	188,4	119,7	-	0,42
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,04	-0,27	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,07	1,41	-	-

Πίνακας 35: Σφάλματα Απρίλιος 2005

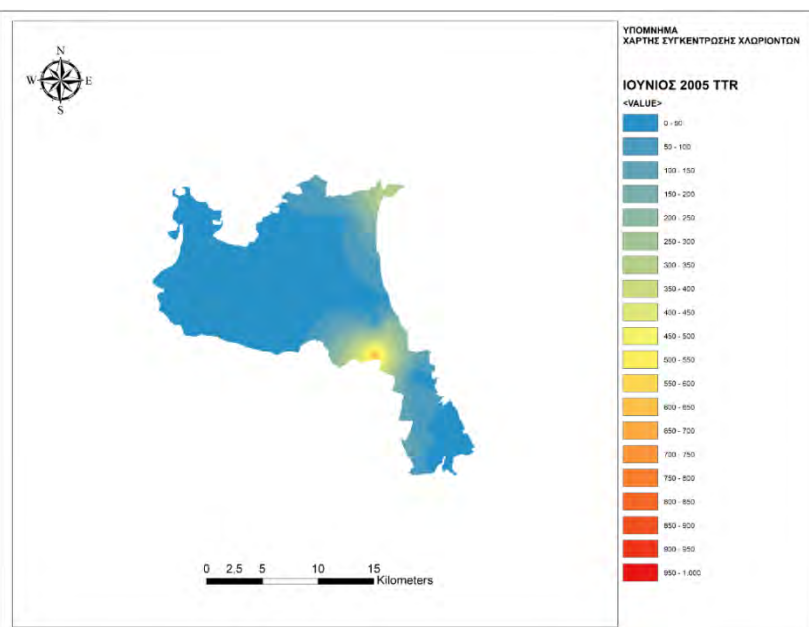
Διπλωματική Εργασία



Εικόνα 208: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2005 Ordinary Kriging



Εικόνα 207: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2005 Simple Kriging

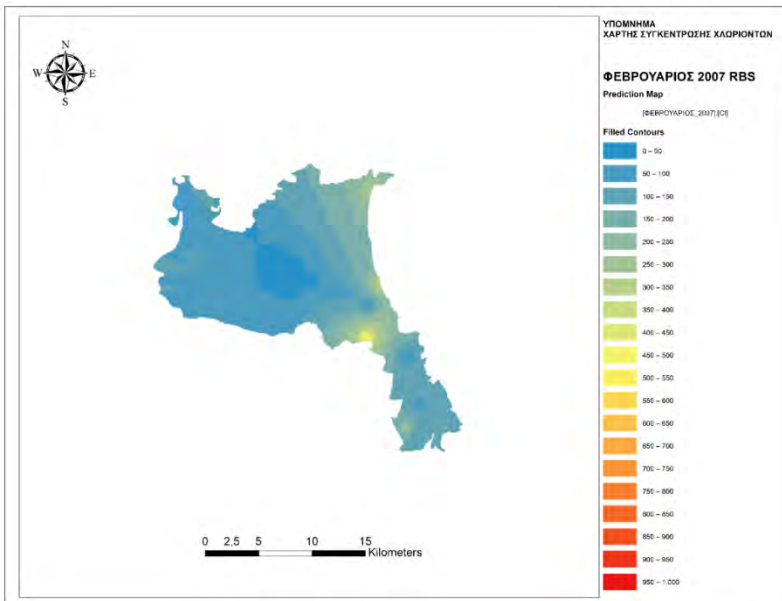


Εικόνα 209: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Ιούνιος 2005 Topo to Raster

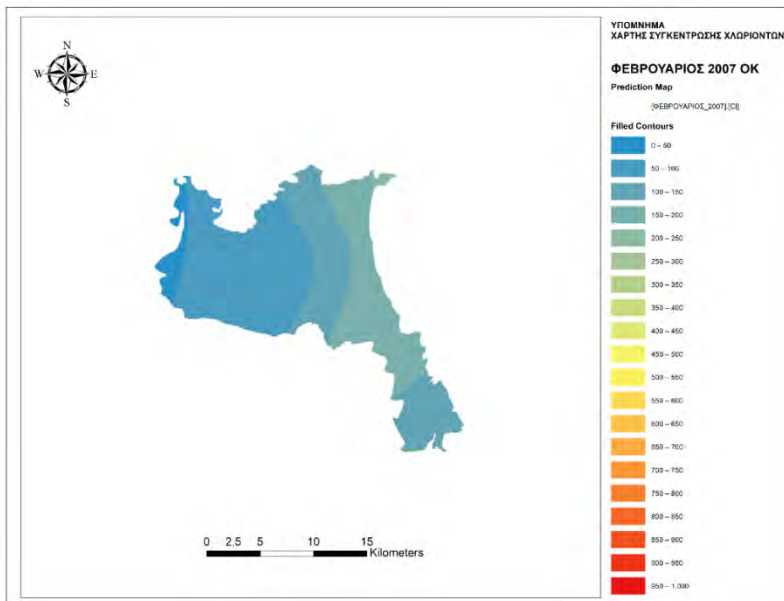
Ιούνιος 2005	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-1,46	-32,99	-	3,56
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	140,68	169,37	-	32,84
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	135,42	119,7	-	0,94
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,006	-0,27	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,03	1,41	-	-

Πίνακας 36: Σφάλματα Ιούνιος 2005

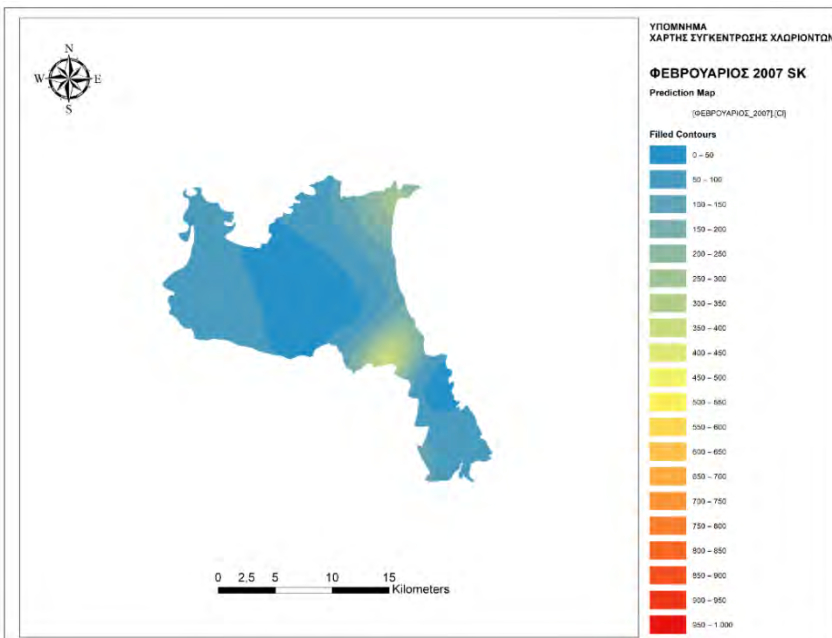
Διπλωματική Εργασία



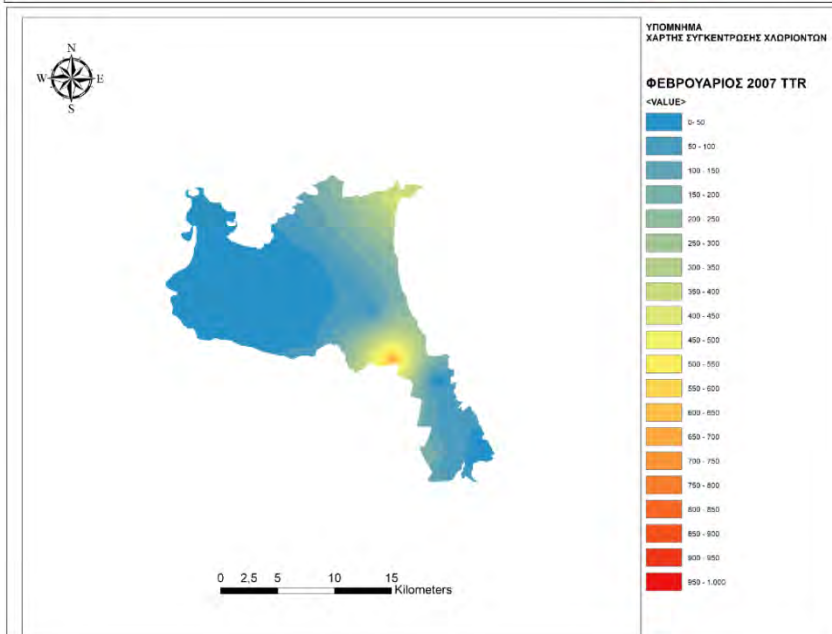
Εικόνα 210: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 RBS



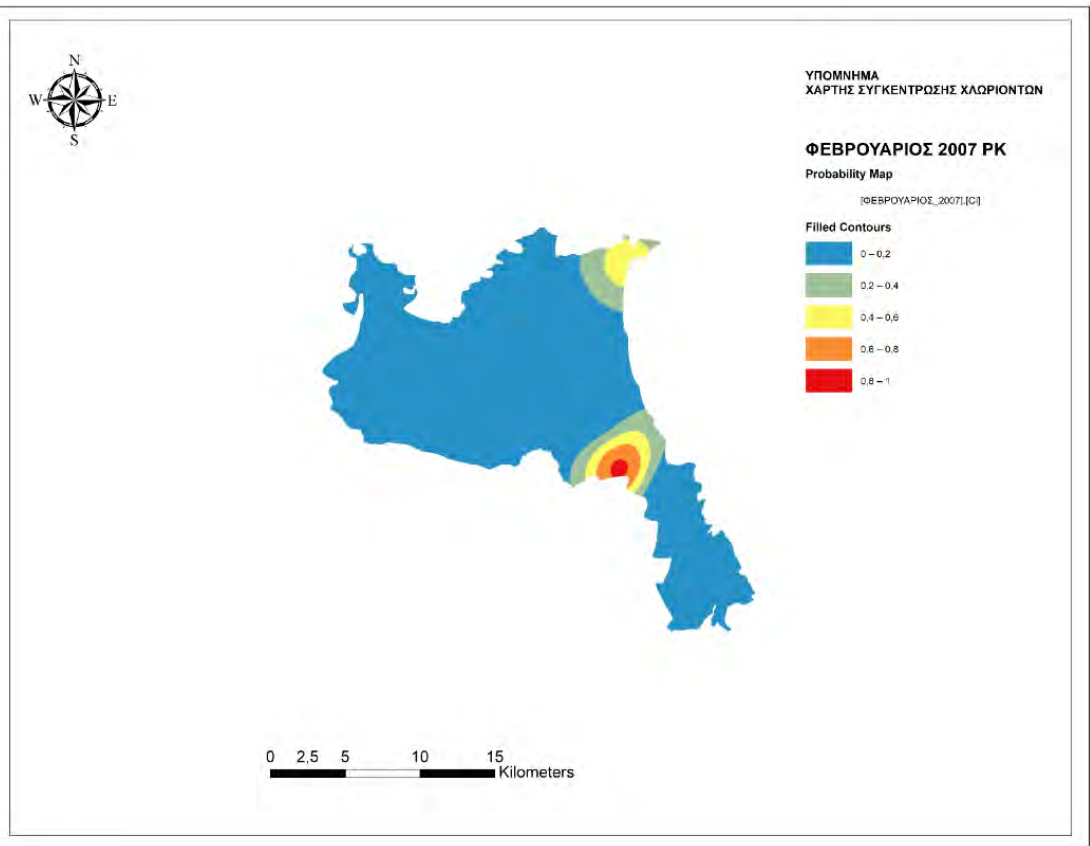
Εικόνα 211: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 212: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Simple Kriging



Εικόνα 213: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Topo to Raster

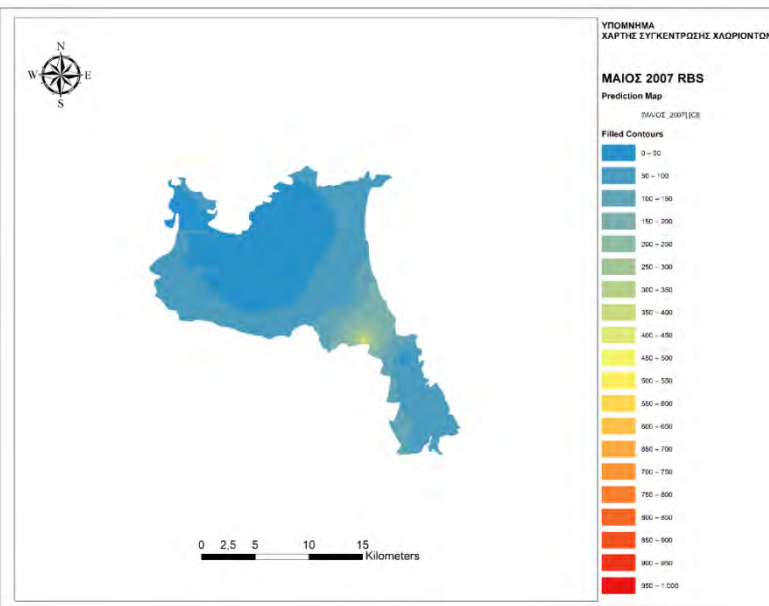


Εικόνα 214: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Φεβρουάριος 2007 Probability Kriging

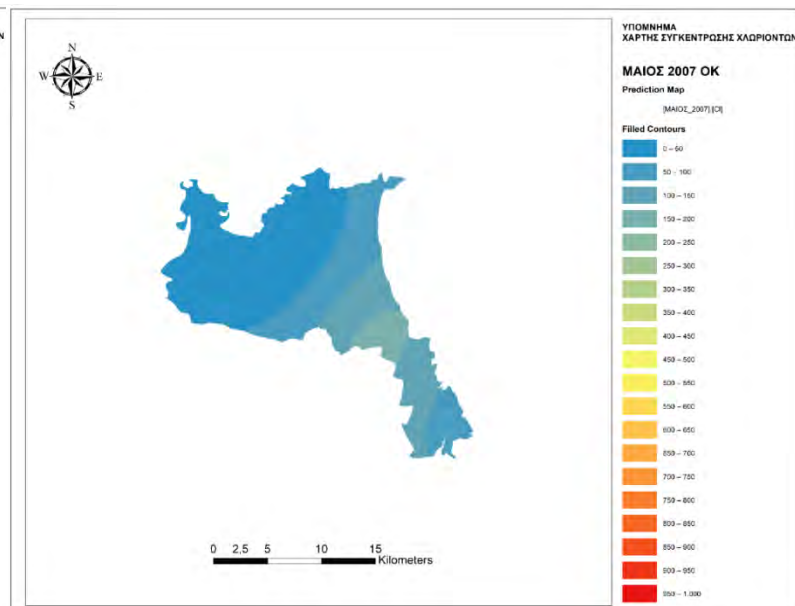
Φεβρουάριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		-0,47	-5,37	-16,9	-0,03	1,48
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		200,67	202,84	190,2	0,43	25,34
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		216,9	184,1	-	0,37
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		-0,01	-0,07	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-		0,98	0,93	-	-

Πίνακας 37: Σφάλματα Φεβρουάριος 2007

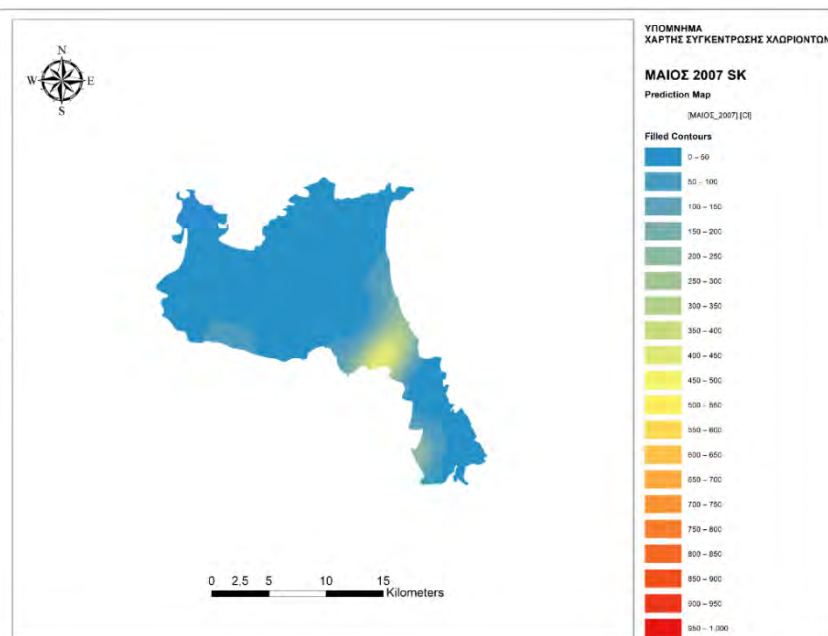
Διπλωματική Εργασία



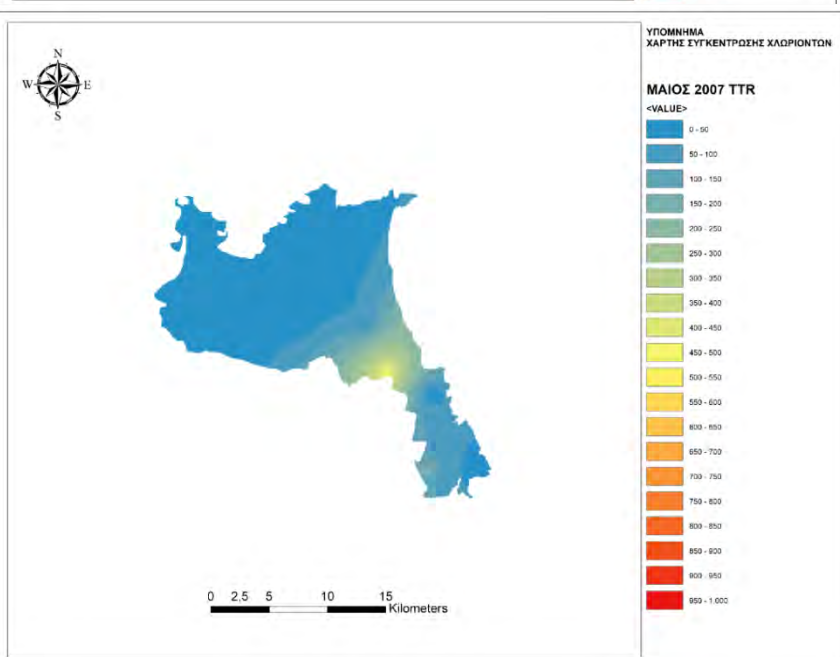
Εικόνα 216: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 RBS



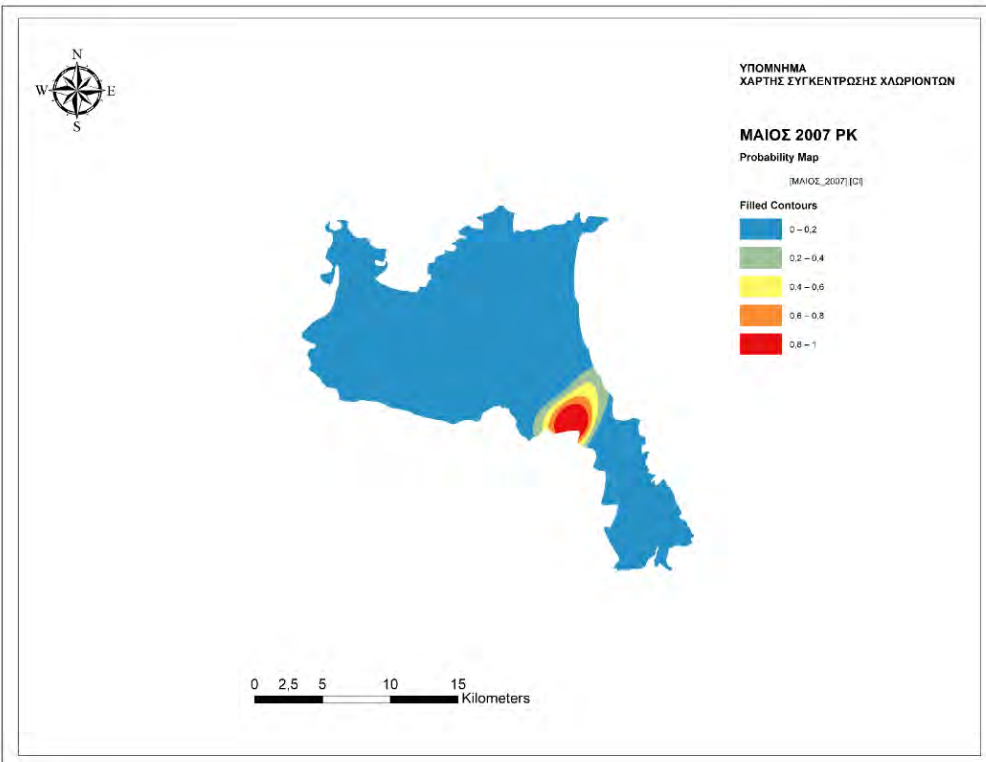
Εικόνα 215: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 217: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Simple Kriging



Εικόνα 218: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Topo to Raster

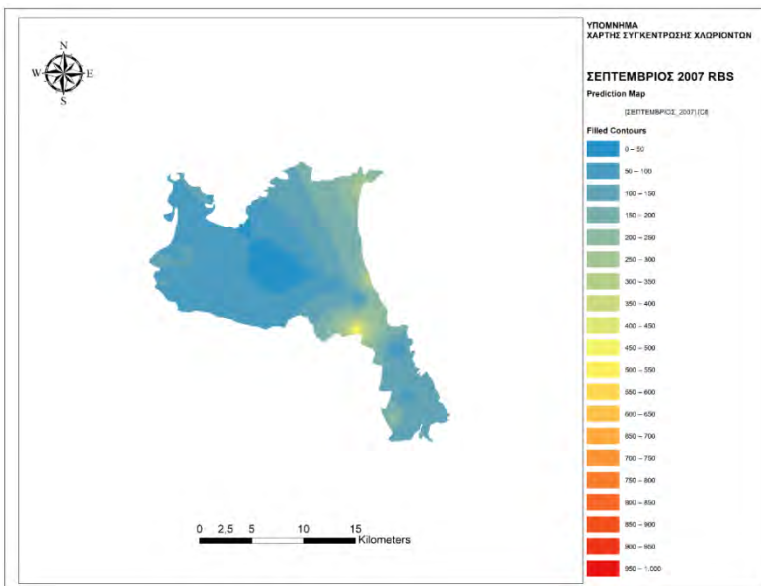


Εικόνα 219: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Μάιος 2007 Probability Kriging

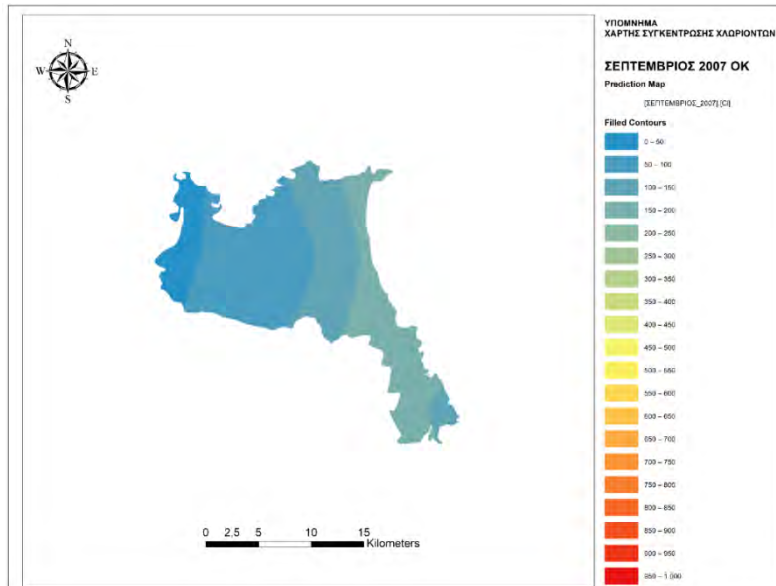
Μάιος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-0,55	0,83	-15,38	-0,04	2,04
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	120,76	119,66	125,61	0,25	29,12
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	112,71	66,45	-	0,35
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	0,009	-0,42	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,05	1,92	-	-

Πίνακας 38: Σφάλματα Μάιος 2007

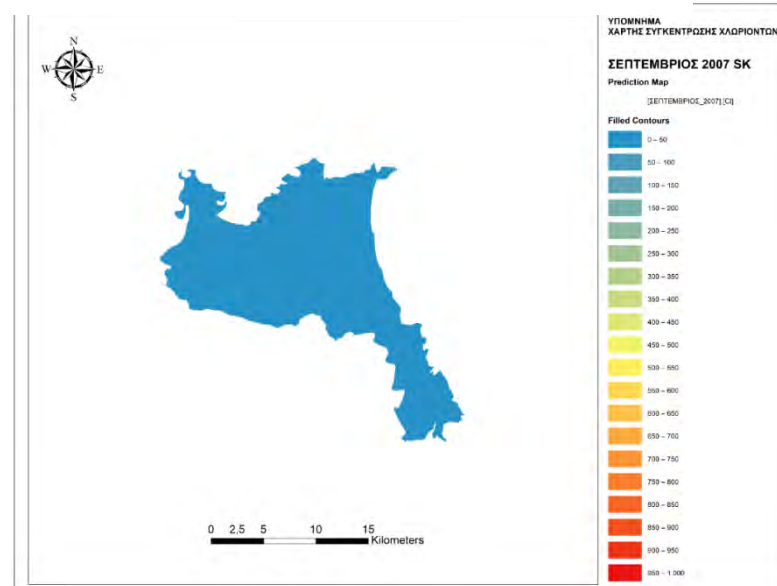
Διπλωματική Εργασία



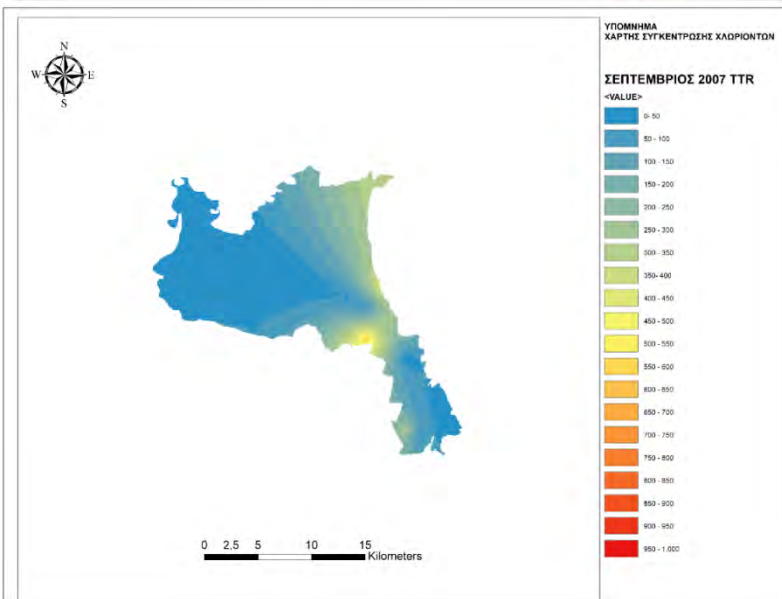
Εικόνα 221: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 RBS



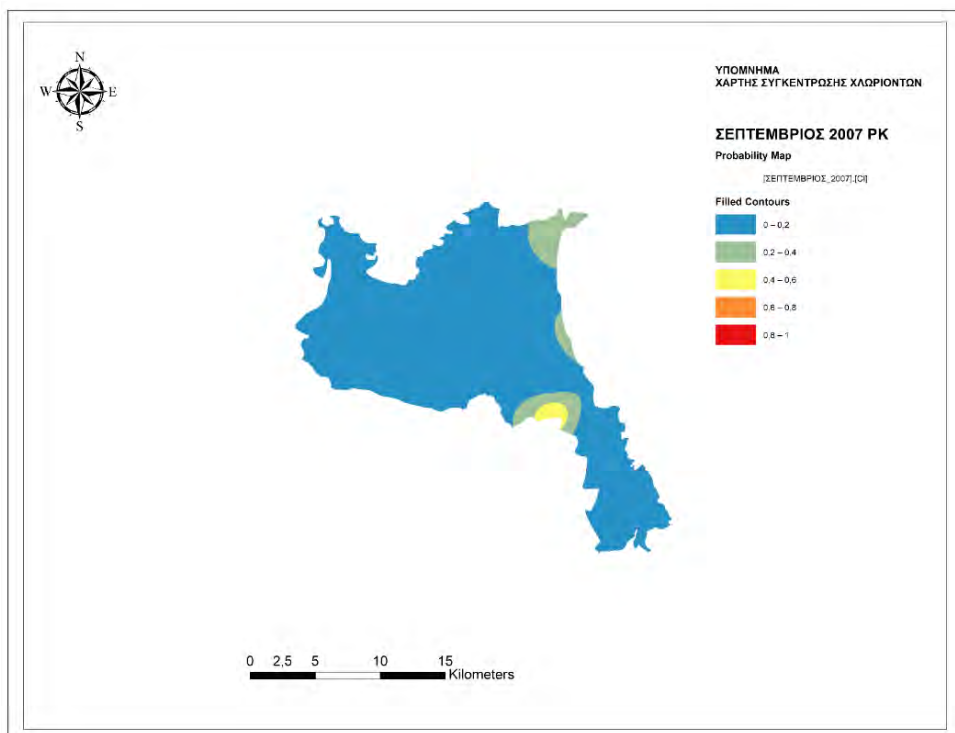
Εικόνα 220: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 222: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Simple Kriging



Εικόνα 223: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Topo to Raster

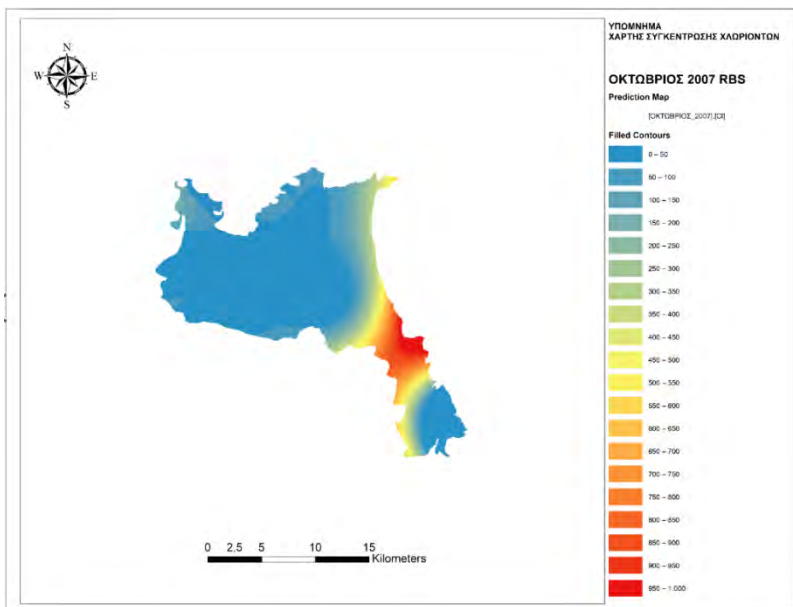


Εικόνα 224: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2007 Probability Kriging

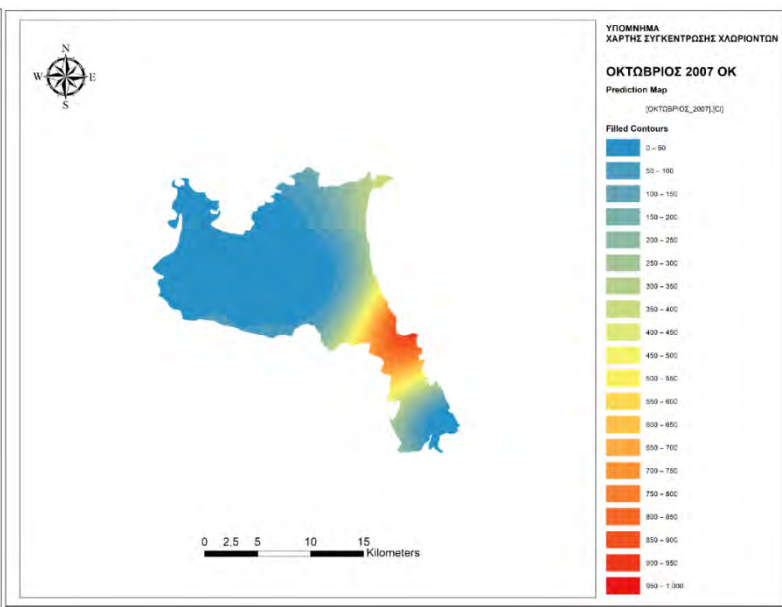
Σεπτέμβριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR	
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		-5,16	-3,4	-3,53	-0,09	3,12
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		203,43	191,44	180,13	0,47	30,58
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		193,8	186,7	-	0,75
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-		-0,1	-0,01	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-		0,99	0,96	-	-

Πίνακας 39: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2007

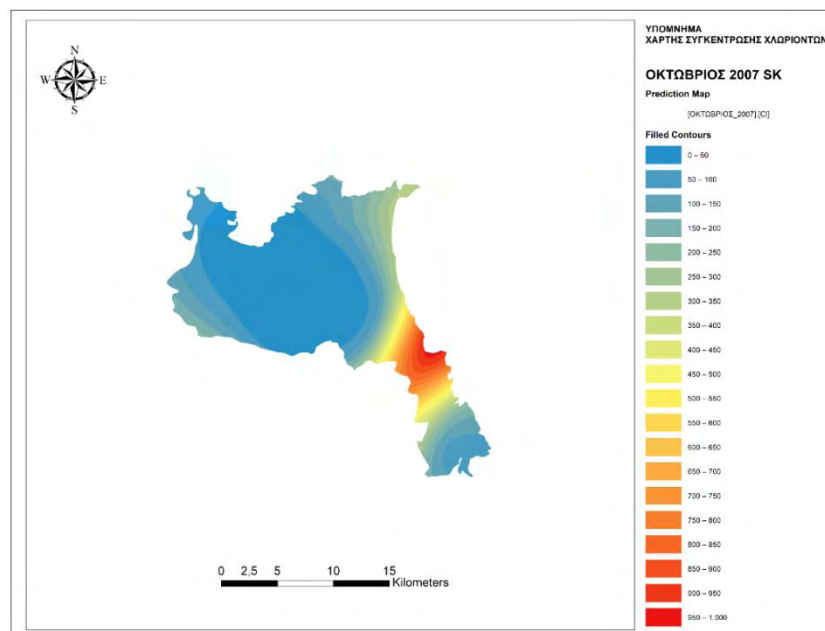
Διπλωματική Εργασία



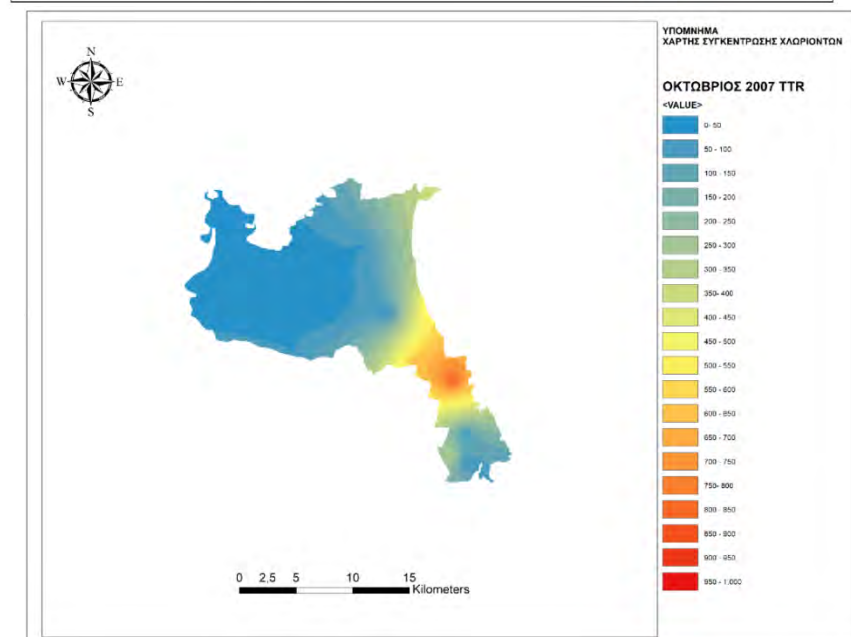
Εικόνα 225: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 RBS



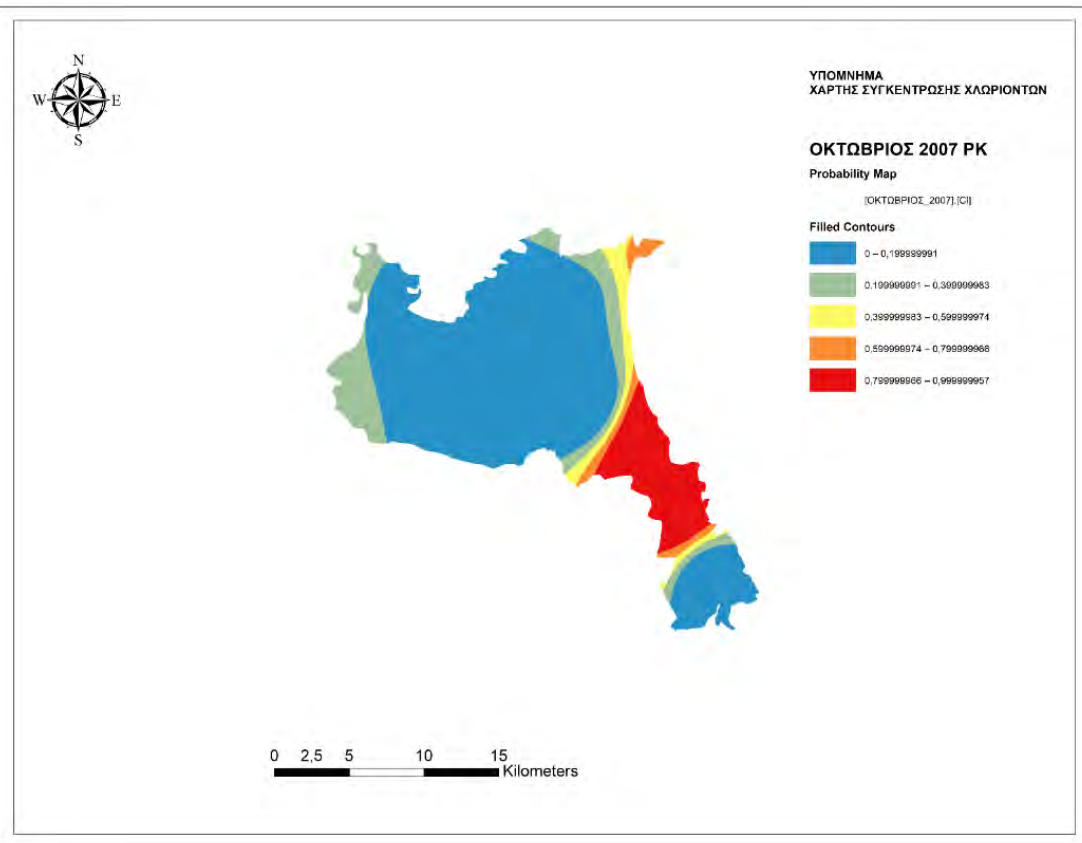
Εικόνα 226: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Ordinary Kriging



Εικόνα 227: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Simple Kriging



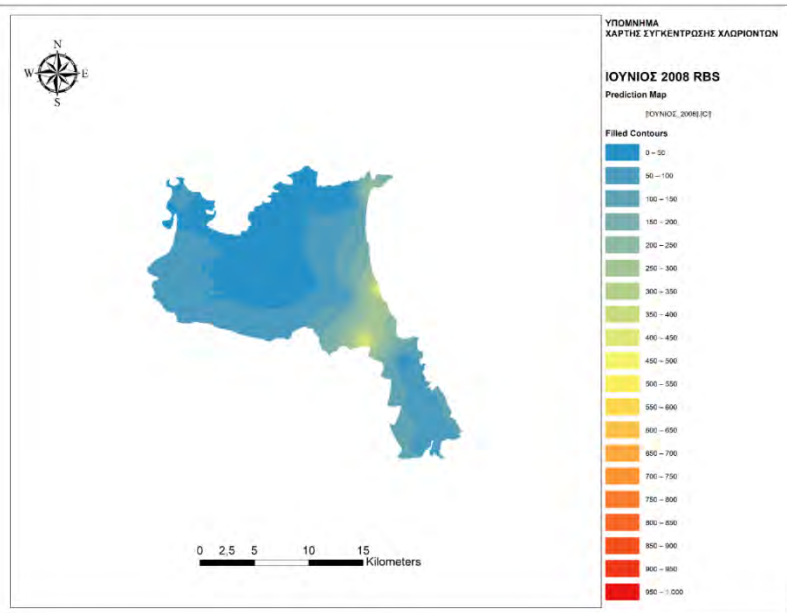
Εικόνα 228: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2007 Topo to Raster



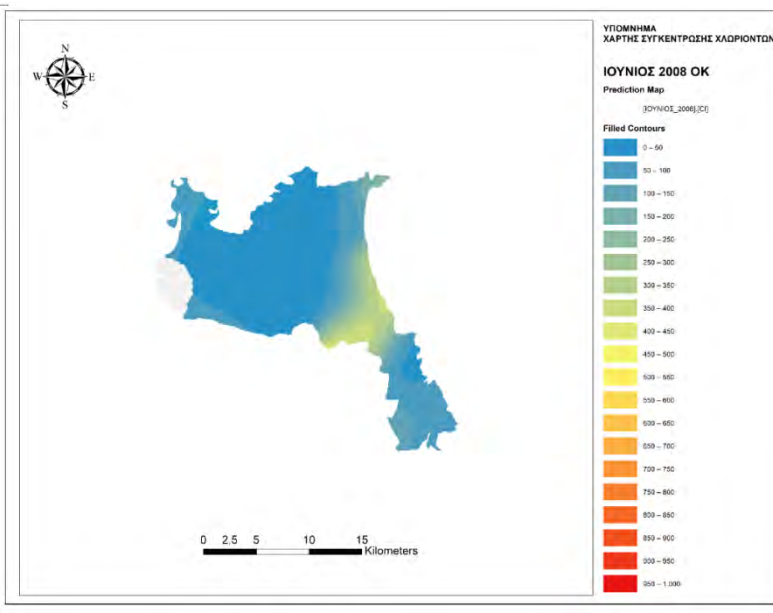
Εικόνα 229: Χάρτης συγκέντρωσης Οκτώβριος 2007 Probability Kriging

Οκτώβριος 2007	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-9,08	-13,73	-18,36	-0,06	1,94
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	133,24	184,96	154,35	0,43	27,56
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	151,59	203,72	-	0,31
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,04	-0,12	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,37	1,01	-	-

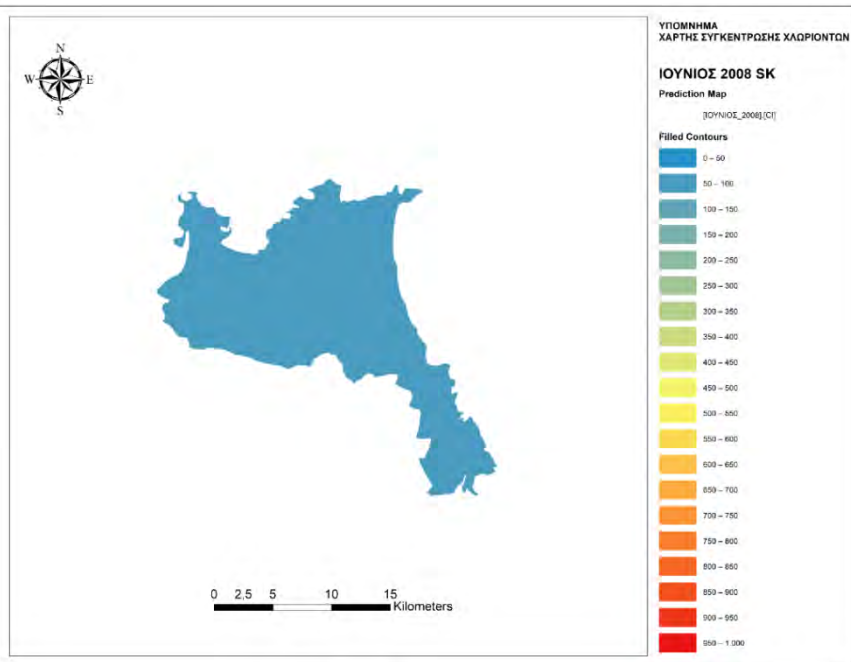
Πίνακας 40: Σφάλματα Οκτώβριος 2007



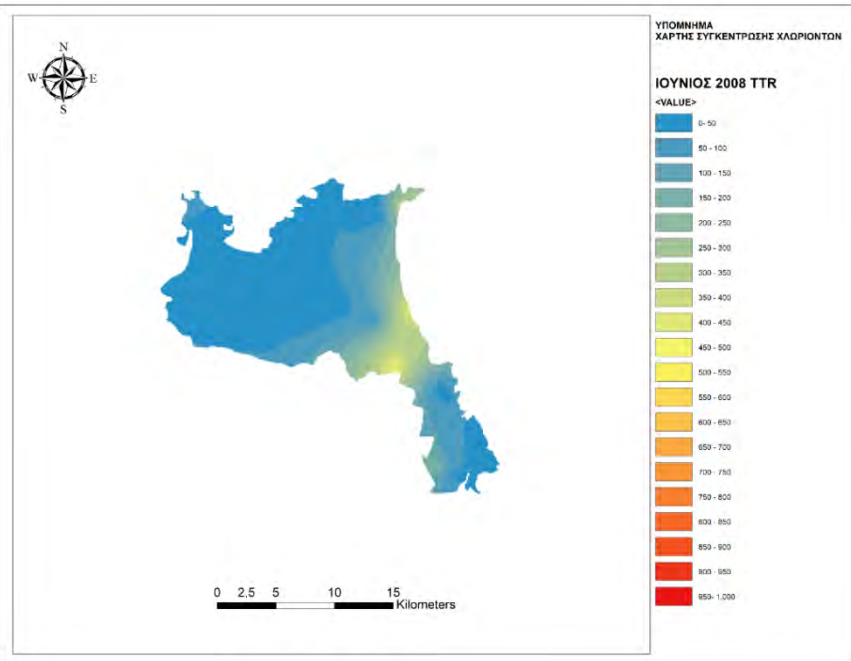
Εικόνα 232: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 RBS



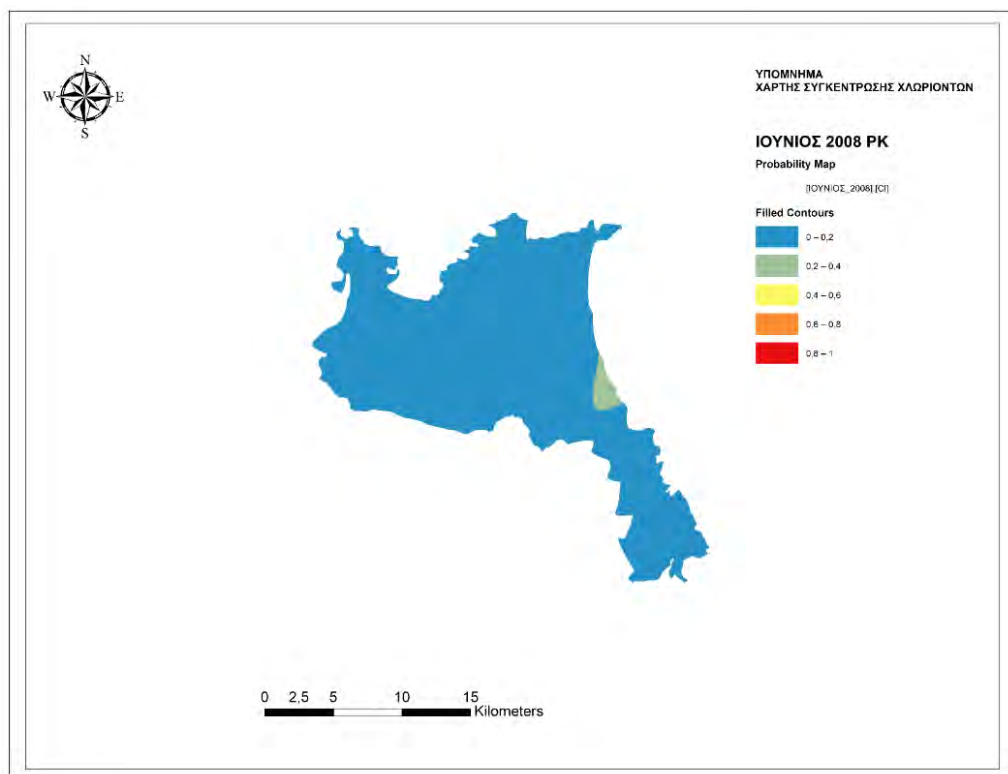
Εικόνα 231: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 230: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Simple Kriging



Εικόνα 233: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Ιούνιος 2008 Topo to Raster

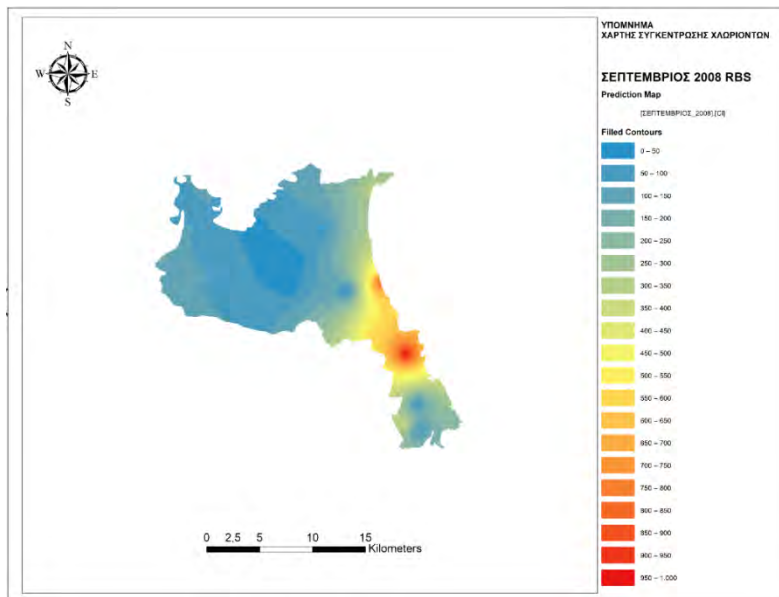


Εικόνα 234: Χάρτης συγκέντρωσης Χλωριόντων Ιούνιος 2008 Probability Kriging

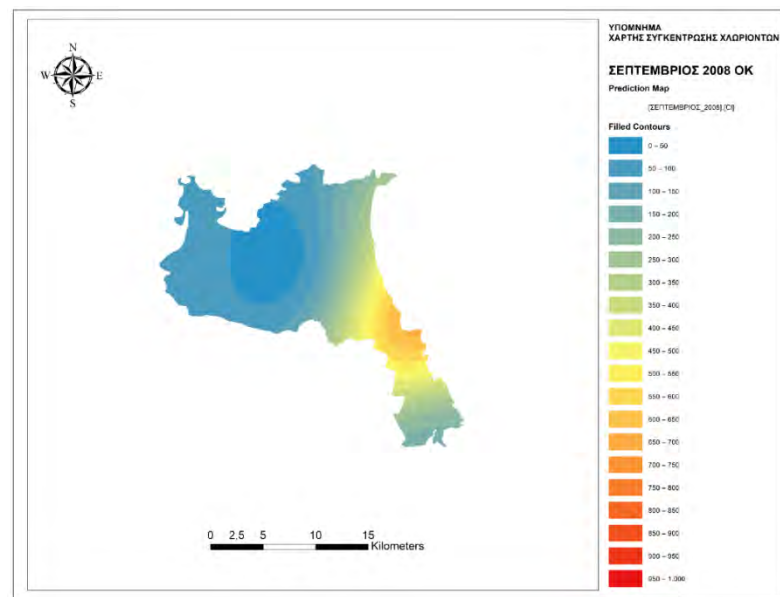
Ιούνιος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-2,88	-14,13	-18,53	-0,06	2,42
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	143,79	151,08	136,93	0,35	30,59
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	122,34	73,46	-	0,62
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,09	-0,25	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,27	1,86	-	-

Πίνακας 41: Σφάλματα Ιούνιος 2008

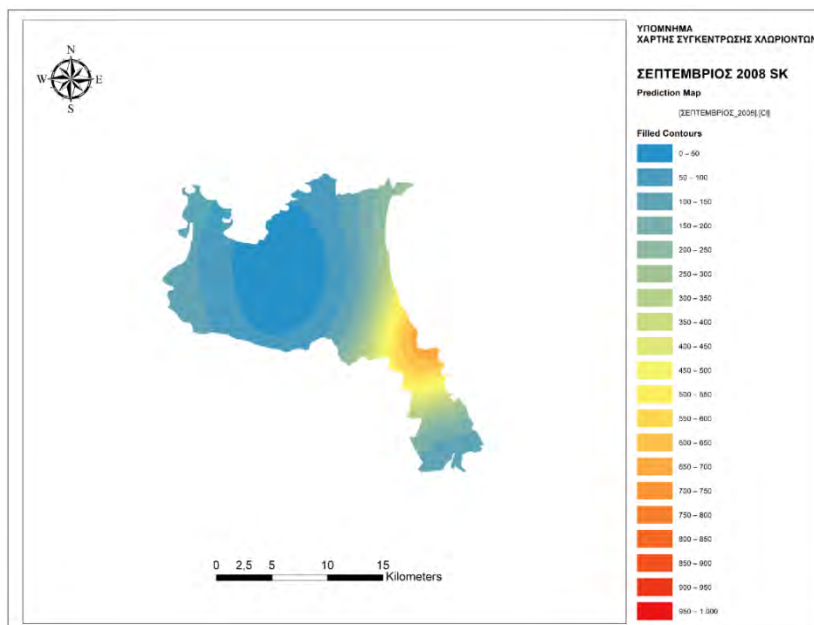
Διπλωματική Εργασία



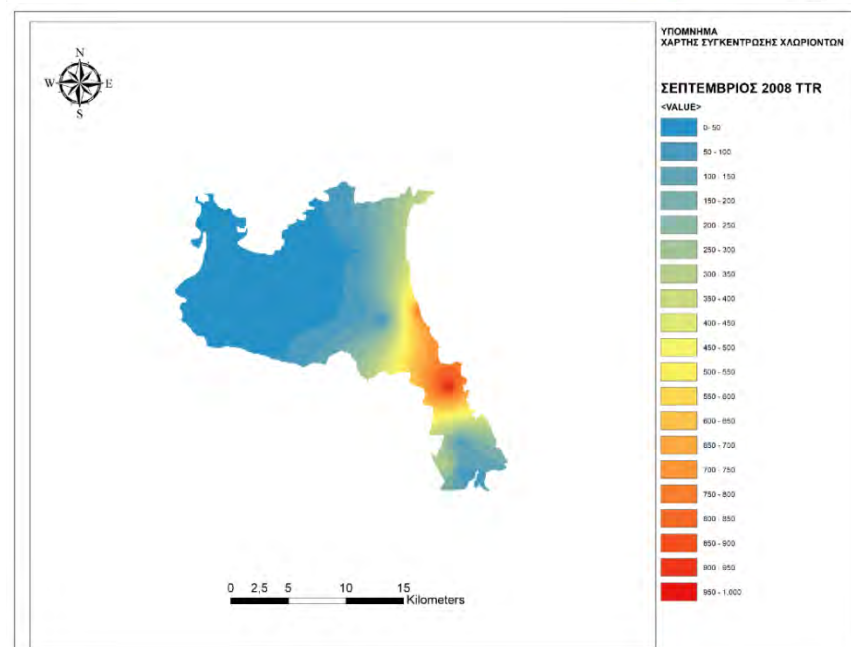
Εικόνα 236: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 RBS



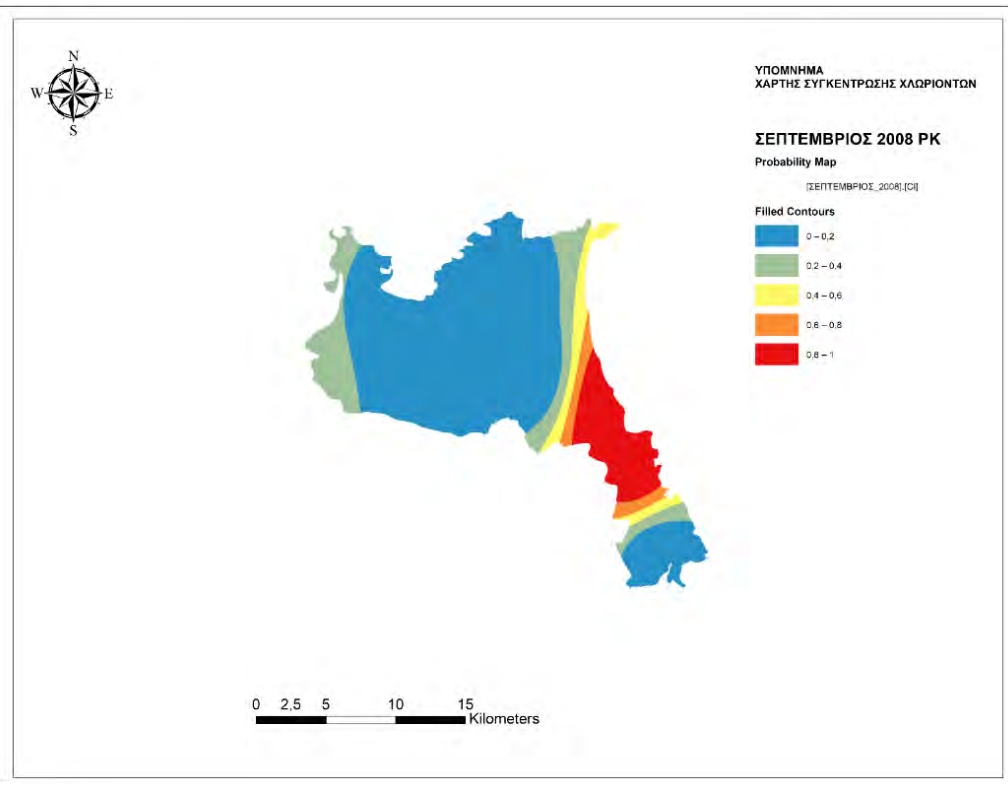
Εικόνα 235: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 237: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Simple Kriging



Εικόνα 238: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Topo to Raster

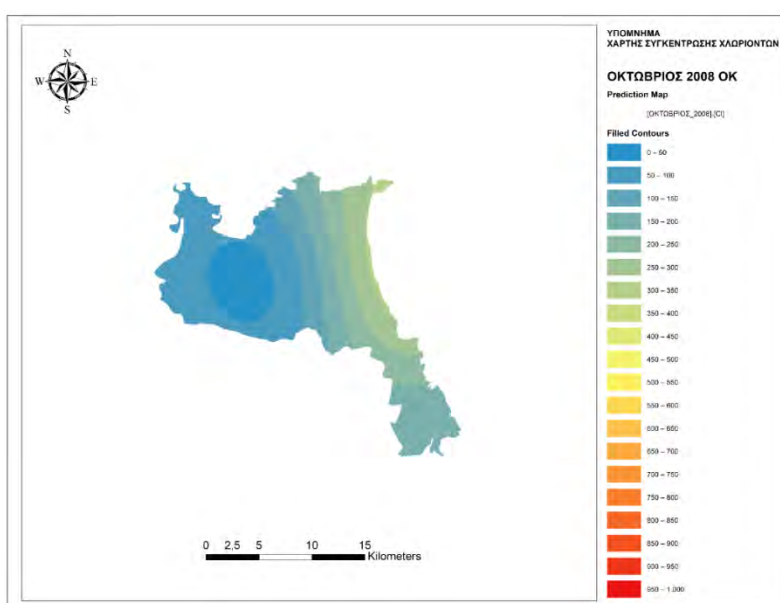


Εικόνα 239: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Σεπτέμβριος 2008 Probability Kriging

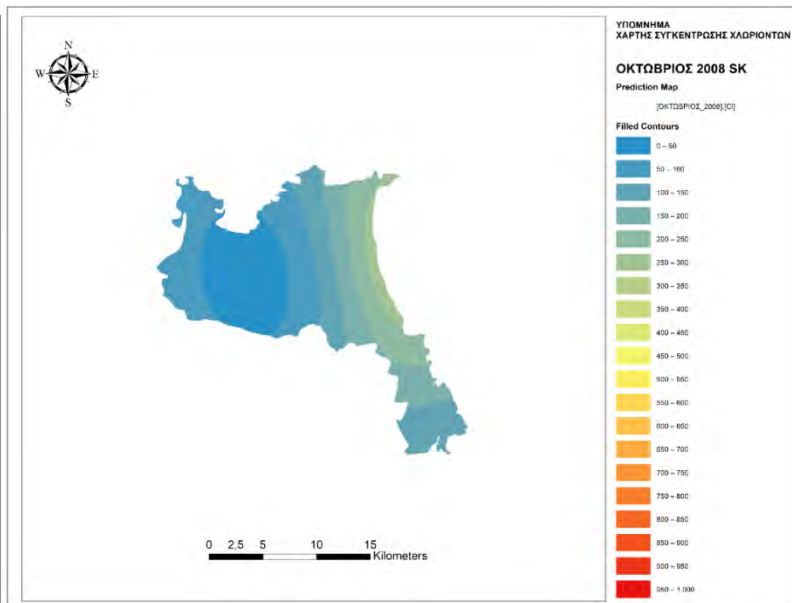
Σεπτέμβριος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	-5,79	-2,05	-23,92	-0,02	2,25
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	271,62	253,1	254,37	0,44	29,51
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	270,96	224,9	-	0,51
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,001	-0,09	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	0,95	0,99	-	-

Πίνακας 42: Σφάλματα Σεπτέμβριος 2008

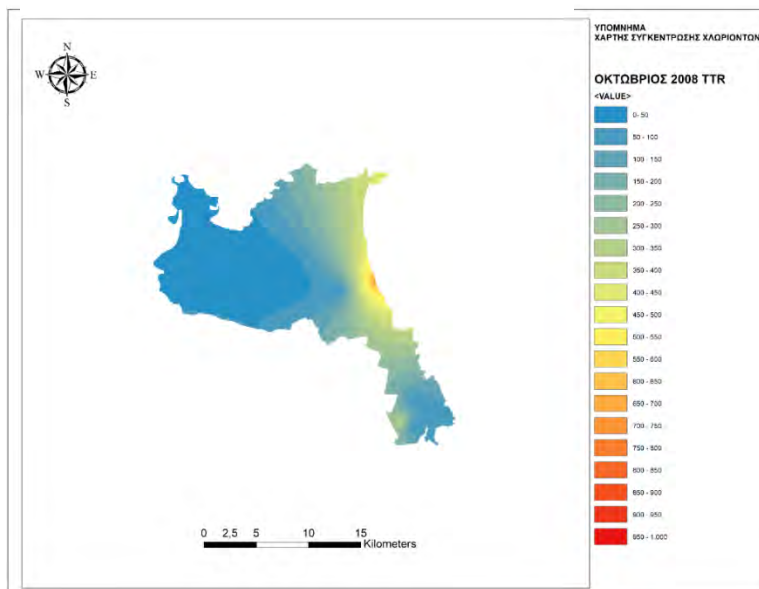
Διπλωματική Εργασία



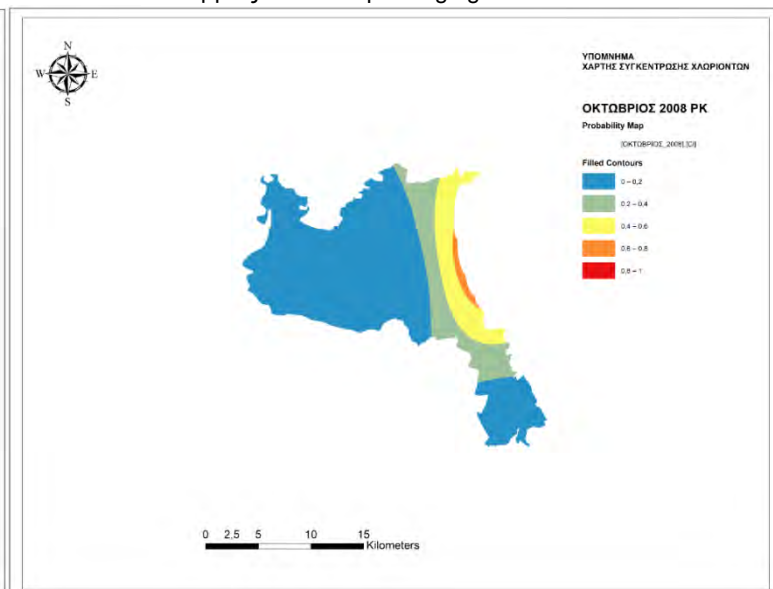
Εικόνα 240: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Ordinary Kriging



Εικόνα 241: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Simple Kriging



Εικόνα 242: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Topo to Raster



Εικόνα 243: Χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων Οκτώβριος 2008 Probability Kriging

Οκτώβριος 2008	RBS	OK	SK	PK	TTR
ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ		-13,78	-19,21	0,02	1,84
ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ		220,39	214,31	0,44	28,72
ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	215,7	182,47	-	0,34
ΜΕΣΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	-	-0,04	-0,09	-	-
ΜΕΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	-	1,01	1,13	-	-

Πίνακας 43: Σφάλματα Οκτώβριος 2008

10.Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Ανδρέου Α., (2010), Σύνθεση και χρήση νανοδομημένου σιδήρου για τον καθορισμό υπογείων υδάτων ρυπασμένων με εξασθενές χρώμιο, Αθήνα
- Αντωνάκος Α. (2012), Χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (G.I.S.) για επίλυση προβλημάτων περιβαλλοντικής υδρογεωλογίας στον νομό Κορινθίας, Πάτρα
- Αντωνόπουλος Β., Ποιότητα νερού και ρύπανση υδατικών πόρων, Θεσσαλονίκη
- Βουδούρης Π. (2006). Πανεπιστημιακές Σημειώσεις στο μάθημα της Υδρογεωλογίας Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ
- Γεωργιάδου Ι, (2015), Προσομοίωση και διαχείριση υπόγειου υδροφορέα στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού Μαγνησίας, Βόλος
- Ζαγγανά Ε. (2015), Υδροχημεία, Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Πάτρα
- Κύρκου Α.,(2008) Μαθηματική προσομοίωση υπόγειου υδροφορέα περιοχής Αχελώου-Λυσιμαχείας-Τριχωνίδας. Διπλωματική εργασία. ΠΜΣ Επιστήμης και τεχνολογίας υδατικών πόρων. ΕΜΠ. Αθήνα
- Λουκάς Α., Υδρολογική προσομοίωση και πρόγνωση, Βόλος
- Μαμάρα Α. (2015), Ομογενοποίηση κλιματικών χρονοσειρών της Ελλάδας και χωρική ανάλυση ομογενοποιημένων δεδομένων θερμοκρασίας, Πάτρα
- Μαμάσης Ν., Εισαγωγή στη γεωστατιστική, Αθήνα
- Μαρής Φ. (2015), Τεχνική Υδρολογία - Υδρολογία Υπόγειων Νερών, Ξάνθη
- Μεντζάφου Α. (2004), Υδρογεωλογικό καθεστώς λεκάνης Αλμυρού Βόλου, Αθήνα
- Μόδη Κ. (2010), Εισαγωγή στη Γεωστατιστική, Αθήνα
- Μυλόπουλος Ν. (2008), Διαχείριση των υδατικών Πόρων, Βόλος

Διπλωματική Εργασία

- Μυριούνης Χ (2008), Υδρογεωλογική και υδροχημική διερεύνηση των υπόγειων νερών της παράκτιας ζώνης της υδρολογικής λεκάνης Αλμυρού Μαγνησίας, Θεσσαλονίκη
- Παπαγιαννίδης Δ. (2013), Αγροτική ανάπτυξη και διαχείριση υδάτων στην Ελλάδα, Αθήνα
- Παρδαλίδης-Πέτρου (2005), Διαχείριση της ζήτησης του νερού στον βιομηχανικό τομέα στην πόλη του Βόλου, Βόλος
- Σχέδιο δράσης αειφόρου ενέργειας δήμου Αλμυρού (2005)
- Υδρομέντωρ, (2015) Έκθεση εφαρμογής του συστήματος προσομοίωσης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας
- ΦΕΚ (τεύχος Β/1422/ 22 Οκτωβρίου 2001)
- ΦΕΚ (τεύχος Β/1575/ 5 Αυγούστου 1991)
- Χριστόπουλος Δ. (2002), Εισαγωγή στη Γεωστατιστική, Κρήτη

Ξένη

- Arslan H. (2012), Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary Kriging and indicator Kriging : The case of Bafra Plain, Turkey, Turkey
- Ashraf M. et.al. (1997), Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks, USA
- Chandrasekharan H. et.al. (2008), Variability of soil–water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu, India
- Clark I. (2001), Practical Geostatistics, UK
- Costandinidis D. (1978). *Hydrodynamique d'un système aquifère hétérogène, Hydrogéologie de la Thessalie Orientale*. Doctoral D'Etat, Grenoble
- Freire J. et.al., (1991), Spatial Distribution of Munida intermedia and M.sarsi (Crustacea: Anomura) on the Galician Continental Shelf (NW Spain) : Application of Geostatistical analysis, Spain
- Gundogdu K. et.al. (2007), Spatial analyses of groundwater levels using universal Kriging, Turkey
- Hunt H. et.al. (2012), Chlorides in Fresh water, USA

Διπλωματική Εργασία

- Kitanidis P. , Introduction to Geostatistics: Application to Hydrogeology, UK
- Lado Rodriguez et.al. (2008), Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database, Italy
- Lee C. et.al. (2008), Mapping Vs30 in Taiwan, Taiwan
- Martinez A. (1995), Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain, Spain
- Sun B. et.al., (2003), Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China, China

Ιστότοποι

- <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=247&language=el-GR>